



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH TEMPERATUR PERLAKUAN
PANAS AGING DAN KETEBALAN LAPISAN
ALUMINIUM HASIL ARC SPRAY PADA BAJA
AISI 1018 TERHADAP COATING INTEGRITY
DAN KETAHANAN KOROSI DI LINGKUNGAN
AIR LAUT**

Muhammad Rifki

NRP 02511440000082

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Alvian Toto, S.T., MT.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH TEMPERATUR PERLAKUAN
PANAS AGING DAN KETEBALAN LAPISAN
ALUMINIUM HASIL ARC SPRAY PADA BAJA
AISI 1018 TERHADAP COATING INTEGRITY
DAN KETAHANAN KOROSI DI LINGKUNGAN
AIR LAUT**

Muhammad Rifki

NRP 02511440000082

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Alvian Toto, S.T., MT.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



FINAL PROJECT - TL 141584

EFFECT OF TEMPERATURE OF AGING HEAT TREATMENT PROCESS AND ALUMINIUM COATING THICKNESS ON ARC SPRAY PROCESS IN AISI 1018 STEEL TO COATING INTEGRITY AND CORROSION RESISTANCE IN SEA WATER ENVIRONMENT

Muhammad Rifki

NRP 02511440000082

Advisors

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Alvian Toto, S.T., MT.

Departement of Material Engineering

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

**PENGARUH TEMPERATUR PERLAKUAN
PANAS AGING DAN KETEBALAN LAPISAN
ALUMUINIUM HASIL *ARC SPRAY* PADA BAJA
AISI 1018 TERHADAP *COATING INTEGRITY*
DAN KETAHANAN KOROSI DI LINGKUNGAN
AIR LAUT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhammad Rifki
NRP. 02511440000082

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Alvian Toto, S.T., M.T. (Pembimbing II)



**PENGARUH TEMPERATUR PERLAKUAN
PANAS AGING DAN KETEBALAN LAPISAN
ALUMINIUM HASIL ARC SPRAY TERHADAP
COATING INTEGRITY DAN KETAHANAN
KOROSI PADA BAJA AISI 1018 DI
LINGKUNGAN AIR LAUT**

Nama Mahasiswa : Muhammad Rifki
NRP : 02511440000082
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
2. Alvian Toto, S.T., MT.

Abstrak

Pada penelitian ini didiskusikan pengaruh temperatur proses *aging* dan ketebalan lapisan aluminium yang terbentuk dari *thermal arc spray aluminium coating* terhadap *coating integrity* dan ketahanan korosi. Kawat aluminium dengan kemurnian 99.80% berdiameter 1.6 mm digunakan sebagai *coating material*. Material substrat yang digunakan adalah baja AISI 1018. Variabel yang digunakan pada eksperimen ini adalah ketebalan coating *aluminium*, 200 dan 300 mikron dan temperatur *aging*, 150, 300, dan 450 °C. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh temperatur *aging* dan ketebalan lapisan aluminium terhadap ketebalan *coating integrity* dan ketahanan korosi pada material substrat. Metode pada penelitian ini adalah, material substrat dilapisi dengan kawat aluminium menggunakan teknik *arc spray*, lalu diberi proses *aging* di dalam *furnace*. Pengujian yang dilakukan pada eksperimen ini adalah DFT, *pull off test*, *bending test*, XRD, SEM, dan uji ketahanan korosi. Hasil dari uji SEM dan EDAX menunjukkan lapisan senyawa intermetalik dengan komposisi Fe dan Al muncul setelah proses *aging* dengan temperatur 450 °C. Lapisan senyawa intermetalik hasil proses *aging* meningkatkan hasil uji *pull off* yang semakin baik dengan

meningkatnya temperatur proses *aging*. Nilai uji *pull off* yang tertinggi adalah 8.23 MPa pada spesimen dengan ketebalan *coating* 300 mikron dan temperatur *aging* 450 °C. Sifat ketahanan korosi semakin baik dengan meningkatnya ketebalan *coating* aluminium dan temperatur proses *aging* karena lapisan senyawa intermetalik memberikan sifat ketahanan korosi yang lebih baik.

Kata Kunci: korosi, *coating*, *thermal spray*, *coating integrity*

EFFECT OF TEMPERATURE OF AGING HEAT TREATMENT PROCESS AND ALUMINIUM COATING THICKNESS ON ARC SPRAY PROCESS IN AISI 1018 STEEL TO COATING INTEGRITY AND CORROSION RESISTANCE IN SEA WATER ENVIRONMENT

Name : Muhammad Rifki
NRP : 02511440000082
Department : Teknik Material FTI-ITS
Advisor : 1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
2. Alvian Toto, S.T., MT.

In this study is discussed about the effect of temperature of aging process and coating thickness of aluminium by thermal arc spray coating to coating integrity and corrosion resistance. Aluminium wire with 99.80% purity and the diameter is 16 mm is used as the coating material. AISI 1018 steel is used as the substrate. The variable of this experiment is the coating thikcnss of aluminium, 200 and 300 micron, and the temperature of aging process, 150, 300, and 450 °C. This research is aimed to analyze the effect of temperature of aging process and the thickness of aluminium coating to coating integrity and corrosion resistance of substrate. The method of this research is the substrate is coated by aluminium wire by arc spray technique, then heated by aging process inside furnace. The tests that has been done in this experiment are DFT, pull off test, bending test, XRD, SEM, and corrosion resistance test, The result is a intermetallic compound layer will be formed by aging process in 450 °C. Intermetallic compound layer by aging process increase result of pull off test by the increase of temperature of aging process. The highest of pull off test is 8.23 MPa that obtained by the speciment with 300 micron coating thickness and heated by aing process in 450 °C. Corrosion resistance properties was increased with the increasing

of aging temperature, since intermetallic compound layer provide barrier to steel surface.

Keywords: corrosion, coating, thermal spray, coating integrity

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada :

1. Allah S.W.T yang merupakan Rahmatan Lil ‘Alamin
2. Kedua orang tua penulis (Bapak Syamsurijal dan Ibu Melati) yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
3. Kedua adik penulis (Muhammad Gibran dan Rahmadini) yang senantiasa memberikan masukan-masukan kepada penulis
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS, sekaligus dosen pembimbing penulis. Terima kasih atas bimbingannya selama ini.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan S.T., M.Sc dan Bapak Alvian Toto, S.T., MT. selaku dosen pembimbing yang tidak bosan-bosannya mengarahkan dan memberikan masukan kepada penulis agar penulis lebih terpacu untuk menyelesaikan laporan.
6. Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc selaku Ketua Prodi S-1 Departemen Teknik Material yang tidak pernah berhenti untuk memberikan informasi terbaru seputar tugas akhir kepada penulis
7. Pak Larasanto, Pak Dedi, Pak Aris, dan Mas Armand dari CV Cipta Agung yang telah membantu penulis dalam penelitian tugas akhir ini.
8. Angkatan MT 16 yang selalu memberikan cerita berkesan bagi penulis di sela penelitian tugas akhir berlangsung.
9. Alvan, Megah, Habib, Zaki, Abyan, Gerry, Fariz, Wiwin, Ninur dan teman-teman yang lain yang senantiasa membantu penulis.
10. Rekan-rekan Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Material yang selalu membantu penulis terutama dalam hal berdiskusi.
11. Imam, Billy, Angga, Hastiyan dan Lukman yang merupakan sahabat terbaik dari penulis

12. Teman-teman Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI ITS 2016/2017 yang selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Firdos Nur Fadillah yang selalu mengingatkan dan memberikan semangat kepada penulis.
14. Seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini namun tidak bisa disebutkan satu persatu

Surabaya, 21 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak.....	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.2 <i>Metallic Coating</i>	5
2.2 <i>Thermal Sprayed Coating</i>	5
2.3 <i>Proses Thermal Sprayed Coating</i>	6
2.3.1 Material Substrat.....	6
2.3.2 Flame Spray Konvensional Proses.....	8
2.3.3 <i>Electric Arc Wire Spray</i>	10
2.3.4 <i>Plasma Spray</i>	11
2.3.5 Penyemprotan HVOF.....	12
2.4 <i>Material Coating</i>	13
2.4.1 Aluminium.....	14
2.5 <i>Coating Aluminium</i>	17
2.6 <i>Proses Aging</i>	19
2.7 <i>Korosi</i>	20
2.8 <i>Mekanisme Korosi</i>	21
2.9 <i>Laju Korosi</i>	22
2.10 <i>Pengendalian Korosi</i>	24
2.10.1 <i>Desain dan Pemilihan Bahan</i>	25
2.10.2 <i>Treatment Kimia pada Elektrolit</i>	25

2.10.3 Pelapisan (<i>Coating</i>)	25
2.11 Penelitian Sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	35
3.2 Metode Perancangan	37
3.3 Alat dan Bahan	37
3.3.1 Alat	37
3.3.2 Bahan.....	38
3.4 Proses Penelitian.....	39
3.5 Proses Pengujian.....	42
3.6 Pengkodean	49
3.7 Rancangan Penelitian	50
3.8 Jadwal Penelitian.....	50
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data.....	51
4.1.1 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja AISI 108.....	51
4.1.2 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018 Setelah <i>Sand Blasting</i>	52
4.1.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Pada Baja AISI 1018 Sebelum dan Setelah Proses <i>Aging</i>	53
4.1.4 Analisa <i>Scanning Electron Microscope</i> Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	55
4.1.5 Analisa X-Ray Diffraction Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	59
4.1.6 Hasil Pengujian <i>Pull Off</i> Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	61
4.1.7 Hasil Pengujian <i>Bending</i> Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	66
4.1.8 Hasil Pengujian Ketahanan Korosi Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	69
4.2 Pembahasan.....	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	81
Daftar Pustaka	x

Lampiran
Biodata Penulis

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Prinsip Thermal Sprayed Coating</i>	6
Gambar 2.2 Material Substrat dan <i>Coating</i>	8
Gambar 2.3 Proses <i>Wire Flame Spray</i>	9
Gambar 2.4 <i>Powder Flame Spray</i>	10
Gambar 2.6 <i>Electric Arc Wire Spray</i>	11
Gambar 2.6 <i>Plasma Spray Process</i>	12
Gambar 2.7 Penyemprotan HVOF	13
Gambar 2.8 Estimasi Waktu Dengan Sistem Perlindungan Korosi <i>Thermal Spray Aluminium</i>	18
Gambar 2.9 Mekanisme Korosi.....	22
Gambar 2.10 <i>Hot Dip Galvanizing</i>	27
Gambar 2.11 <i>Electroplating</i>	28
Gambar 2.12 Mikrografi SEM dari lapisan interface a) tanpa perlakuan b) setelah 300 °C selama 2 jam.....	29
Gambar 2.13 Mikrografi SEM dari lapisan interface a) tanpa perlakuan b) setelah 300 °C selama 2 jam.....	30
Gambar 2.14 Hasil SEM dari aluminium yang telah dianil pada temperatur a) waktu pelapisan b) 600 °C c) 700 °C d) 800 °C e) 900 °C	32
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	35
Gambar 3.2 Alat Proses <i>Sand Blasting</i>	40
Gambar 3.3 Proses <i>Arc Spray</i>	41
Gambar 3.4 Proses <i>Aging</i>	42
Gambar 3.5 Alat Uji <i>Surface Roughness</i>	43
Gambar 3.6 Alat Uji DFT.....	44
Gambar 3.7 Alat Uji SEM <i>Inspect S50</i>	45
Gambar 3.8 Alat Uji XRD Panalytical x’pert pro	46
Gambar 3.9 Alat Uji <i>Pull Off</i>	47
Gambar 3.10 Alat Uji <i>Bending</i>	49
Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Variasi Kontrol Ketebalan 200 Mikron Sebleum dan Setelah Proses <i>Aging</i>	53

Gambar 4.2	Grafik Hasil Uji Ketebalan Lapisan Coating Variasi Kontrol Ketebalan 300 Mikron Sebleum dan Setelah Proses Aging	54
Gambar 4.3	Analisa SEM pada Morfologi <i>Interface</i> Baja AISI 1018 Ketebalan 300 Mikron Setelah <i>Coating</i> Perbesaran 150x.....	56
Gambar 4.4	Analisa SEM pada Morfologi <i>Interface</i> Baja AISI 1018 Ketebalan 300 Mikron Setelah <i>Coating</i> Perbesaran 1000x.....	57
Gambar 4.5	Grafik Hasil EDAX pada Lapisan antara <i>Coating</i> Aluminium dan Substrat Spesimen Dengan Proses <i>Aging</i> pada 450 °C Selama 2 Jam	58
Gambar 4.6	Analisa XRD pada <i>interface</i> baja AISI 1018 setelah <i>coating</i> ketebalan 300 mikron tanpa proses <i>aging</i> , proses <i>aging</i> pada 300 °C dan 450 °C.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Material <i>Coating</i> Dan Aplikasinya.....	14
Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan Alumunium Tempa	15
Tabel 2.3 Daftar Seri Paduan Alumunium Tuang	16
Tabel 2.4 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi	24
Tabel 2.5 Hasil Uji <i>Pull Off</i> dan <i>Bending</i>	31
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1018	38
Tabel 3.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1018	38
Tabel 3.3 Sifat Mekanik Aluminium Murni.....	39
Tabel 3.4 Pengkodean	49
Tabel 3.5 Tabel Perancangan	50
Tabel 3.6 Jadwal Penelitian.....	50
Tabel 4.1 Hasil Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018.....	51
Tabel 4.2 Hasil Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018 Setelah Proses <i>Sand Blasting</i>	52
Tabel 4.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan Coating Sebelum dan Setelah Proses <i>Aging</i>	55
Tabel 4.4 Komposisi hasil EDAX pada Lapisan antara <i>Coating</i> Aluminium dan Substrat Spesimen dengan Proses <i>Aging</i> pada 450 °C selama 2 Jam	59
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Pull Off</i>	61
Tabel 4.6 Pengamatan Visual Hasil Pengujian <i>Pull Off</i>	62
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	67
Tabel 4.8 Hasil Uji Ketahanan Korosi Pada Plat Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	70
Tabel 4.9 Hasil Pengamatan Makro Pengujian Ketahanan Korosi Pada Plat Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses <i>Aging</i>	71



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Terjadinya korosi telah mendorong berbagai penelitian mengenai hubungan logam dan lingkungannya. Lingkungan merupakan faktor utama yang menyebabkan korosi. Dari berbagai penelitian mengenai korosi, penelitian korosi dalam lingkungan air laut menjadi cukup penting, mengingat sebagian wilayah bumi adalah lautan. Diketahui bahwa kandungan garam yang terkandung dalam air laut mempunyai sifat korosif terhadap logam, maka pertimbangan reaksi secara kimia air laut terhadap logam sangat perlu diperhatikan dalam merancang alat atau bangunan di laut. Plat baja karbon dalam air laut mengalami laju korosi antara 0,1 sampai 0,15 mm pertahun (Leonard, 2015). Berbagai upaya untuk memperlambat laju korosi telah dilakukan, salah satunya adalah dengan metode pelapisan (*coating*). Material *coating* yang digunakan pun sudah bermacam-macam bentuknya. Ada yang berbentuk *wire*/kawat. Pada prinsipnya, penggunaan material *coating* yang diaplikasikan pada substrat mempunyai fungsi yaitu untuk menahan/memperlambat laju korosi yang terjadi pada substrat, dalam hal ini adalah baja AISI 1018. Material *coating* yang digunakan adalah kawat aluminium dengan tingkat kemurnian 99,80%. Pemilihan kawat aluminium ini dipilih karena sifat dari lapisan yang terbentuk yang memiliki sifat resistansi terhadap korosi yang tinggi di lingkungan ekstrim, khususnya air laut.

÷ Pada percobaan ini dilakukan proses pelapisan aluminium dengan kemurnian 99,80% pada baja AISI 1018 lalu diberikan perlakuan panas *aging* dengan harapan terbentuknya senyawa lapisan FeAl dari *coating* aluminium agar meningkatkan *coating integrity* dan proteksi terhadap korosi menjadi maksimal.



1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur perlakuan panas *aging* terhadap terbentuknya lapisan senyawa FeAl pada baja AISI 1018?
2. Bagaimana pengaruh lapisan senyawa FeAl terhadap *coating integrity* dan ketahanan korosi baja AISI 1018?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komposisi material uji baja AISI 1018 dianggap homogen berdasarkan sertifikasi yang telah ada.
2. Pengaruh mikroorganisme yang terdapat pada air laut saat pengujian diabaikan.
3. Sudut, jarak *nozzle*, dan tekanan udara pada proses ini dianggap konstan.
4. Kekasaran setiap spesimen dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh temperatur perlakuan panas *aging* terhadap terbentuknya lapisan senyawa FeAl pada baja AISI 1018
2. Menganalisis pengaruh lapisan senyawa FeAl terhadap *coating integrity* dan ketahanan korosi baja AISI 1018



1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah agar diketahuinya seberapa efektif metode *Arc Sprayed* kawat aluminium dan perlakuan panas *aging* terhadap peningkatan *coating integrity* dan ketahanan korosi baja pada lingkungan air laut. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pemecahan masalah untuk konstruksi bangunan yang dibangun pada lingkungan air laut dengan menggunakan metode *Arc Sprayed Coating* aluminium.



(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Metallic Coating*

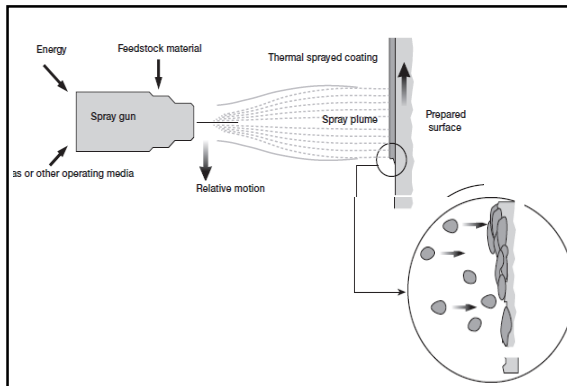
Metallic coating adalah teknik pelapisan yang mengandung unsur metal atau paduan. *Metallic coating* dapat diaplikasikan dengan metode semprot, secara elektrokimia, secara kimia atau mekanis. Pelapisan ini diterapkan pada peralatan yang membutuhkan penampilan mengkilap dan perlindungan dari sinar matahari, korosi dan oksidasi (Corrosionpedia, 2018). Ada empat metode yang biasa digunakan untuk mengaplikasikan lapisan logam ke permukaan baja. Yaitu adalah *hot-dip galvanizing*, penyemprotan termal, *electroplating* dan *sheradizing*. Untuk proses *electroplating* dan *sheradizing* tidak digunakan untuk baja struktural tetapi digunakan untuk *fitting*, *fastener* dan barang-barang kecil lainnya. Secara umum perlindungan korosi yang diberikan oleh pelapisan logam sangat tergantung pada pilihan pelapisan logam dan ketebalannya dan tidak sangat dipengaruhi oleh metode aplikasi (Construction, 2017).

2.2 *Thermal Sprayed Coating*

Thermal spray coating didefinisikan sebagai proses pelapisan yang memerlukan suatu alat yang mampu untuk mendorong baik itu material yang telah mengalami proses peleburan dengan kecepatan yang tinggi kepada material substrat yang telah dilakukan preparasi terlebih dahulu. Material yang akan digunakan untuk proses *thermal spray* dicairkan dengan cara dipanaskan. Material yang telah dicairkan kemudian didorong oleh proses gas dan disemprotan pada permukaan material substrat, yang kemudian akan mengeras dan membentuk lapisan



yang kuat. Pada gambar 2.1 dijelaskan bagaimana mekanisme *thermal sprayed coating*, energi yang berbentuk panas mencairkan *feedstock material* lalu disemprotkan melalui *spray gun* menuju substrat yang sudah mengalami preaprase permukaan sehingga terbentuk lapisan *coating*.



Gambar 2.1 Prinsip Thermal Sprayed Coating (Metco, 2013)

2.3 Proses *Thermal Sprayed Coating*

Pada proses ini, faktor penting yang harus diperhatikan adalah material substrat dan jenis prosesnya. Terdapat beberapa proses yang berbeda untuk aplikasi dari *thermal sprayed coating*, yaitu :

- Proses *Flame Spray*
- *Arc Wire Spray*
- *Plasma Spray*
- *HVOF (High Velocity Oxy-Fuel Spray)*

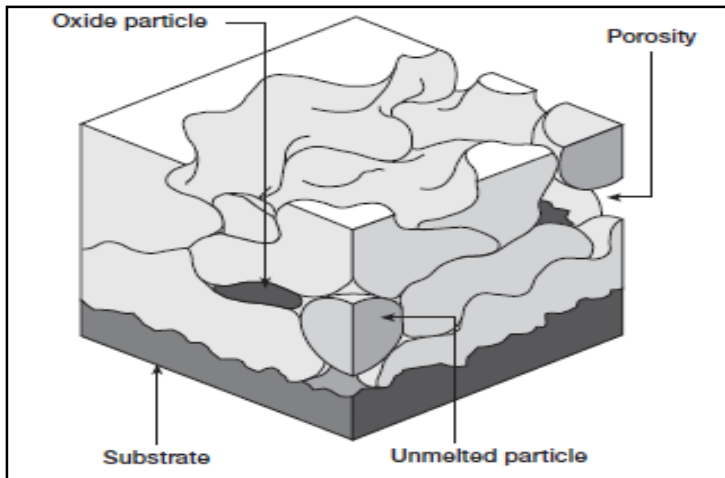
2.3.1 Material Substrat

Material substrat adalah yang material yang dilindungi dengan metode pelapisan agar lebih tahan terhadap proses korosi. Material substrat yang sesuai adalah material yang bisa dilakukan



proses *sand blasting* prosedur yang berfungsi untuk membuat permukaan menjadi kasar, umumnya memiliki kekerasan permukaan sekitar 55 HRC atau lebih rendah. Prosedur yang lain akan dibutuhkan saat kekerasan material substrat melebihi dari 55 HRC. Faktor penting yang harus diperhatikan pada saat sebelum dilakukan pelapisan adalah gaya adhesi dari material *coating* dan substratnya. Gaya adhesi yang terjadi dipengaruhi oleh ikatan mekanik, pembersihan yang merata, dan *pre-treatment* terhadap permukaan yang akan dilakukan proses pelapisan.

Setelah pengotor pada substrat dibersihkan dengan metode mekanik ataupun kimia, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat permukaan kasar dengan menggunakan prosedur *sand blasting*. Proses *sand blasting* adalah proses pembersihan permukaan dengan menggunakan pasir dan udara dengan tekanan tinggi dari compressor sehingga permukaan substrat menjadi bersih dan material *coating* dapat menempel dan membentuk ikatan yang kuat dengan permukaan substrat. Pada gambar 2.2 ada beberapa bagian material yang telah melalui proses *coating* yaitu material substrat, material yang diproteksi dari korosi melalui proses pelapisan, dan *coating* yang melapisi, pada *coating* terdapat beberapa bagian yang tidak diinginkan apabila proses *coating* tidak berjalan sesuai standar, seperti ditemukan porositas, partikel oksida, atau partikel yang tidak mencair dengan sempurna.



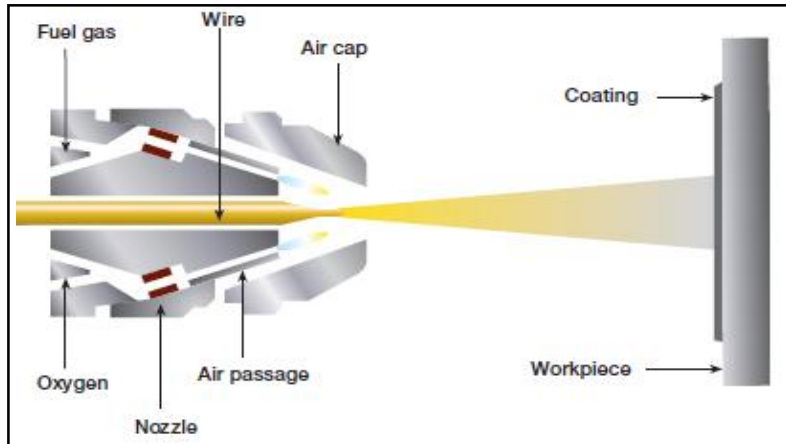
Gambar 2.2 Material Substrat dan *Coating* (Metco, 2013)

2.3.2 *Flame Spray* Konvensional Proses

2.3.2.1 *Wire Flame Spray*

Dengan proses ini, material yang berbentuk kawat tipis dicairkan di dalam gas oksigen panas. Bahan untuk mencairkan dapat berupa asetilena, propana, ataupun hidrogen. Kawat tipis di dalam tempat yang panas, dimana kawat tersebut dicairkan dan diatomisasi dengan tambahan dari udara bertekanan langsung mengarahkan kawat yang dicairkan tersebut menuju permukaan benda kerja. Pada gambar 2.3 dijelaskan mekanisme dari *wire flame spray*, oksigen dan *fuel gas* berperan sebagai bahan bakar untuk mencairkan bahan *coating* yang akan digunakan, *fuel gas* bisa berupa asetilena, propana, ataupun hydrogen, lalu *wire* adalah *feedstock* material yang akan dicairkan dan menjadi bahan *coating*. *Nozzle* merupakan tempat keluarnya cairan *coating* yang didorong oleh udara bertekanan menuju *workpiece*.

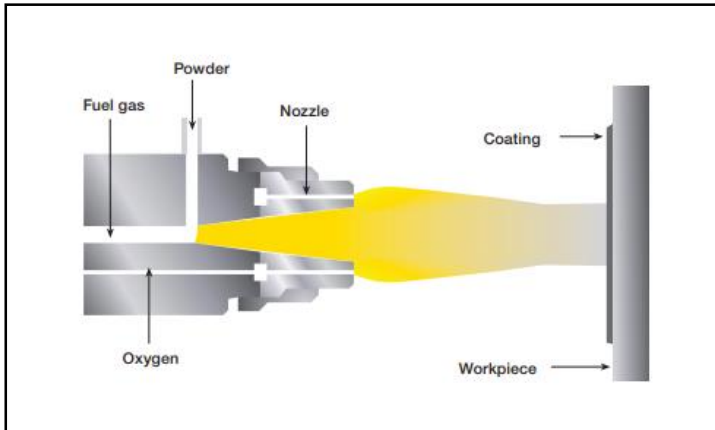
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.3 Proses *Wire Flame Spray* (Metco, 2013)

2.3.2.2 Powder Flame Spray

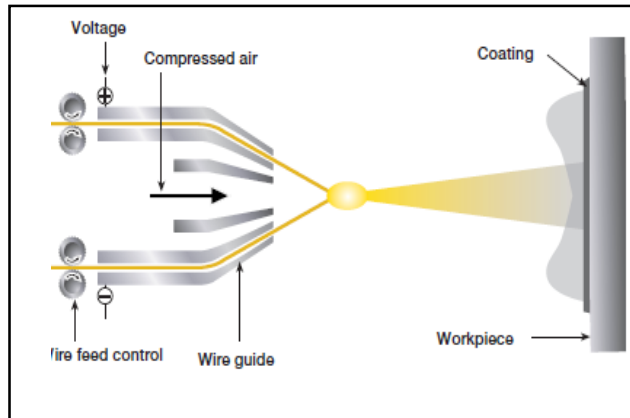
Prinsip dari proses ini hampir sama dengan proses *wire spray*. Yang membedakan adalah material *coating* dari proses ini adalah serbuk. Dengan menggunakan proses ini, seleksi material dapat lebih mudah dilakukan karena tidak semua material dapat digunakan dalam bentuk kawat (*wire*). Pada gambar 2.4 adalah mekanisme dari proses *powder flame spray*, proses yang hampir sama dengan *wire flame spray*, namun menggunakan *material feedstock* berupa bubuk atau *powder* sebagai bahan *coating*.



Gambar 2.4 *Powder Flame Spray* (Metco, 2013)

2.3.3 Electric Arc Wire Spray

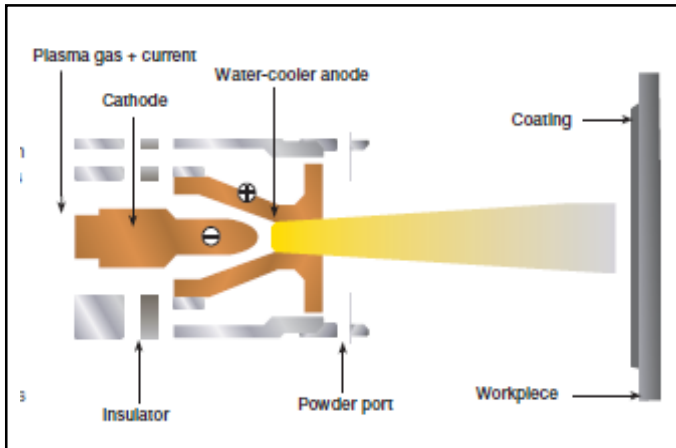
Pada proses *electric arc wire spray*, busur (*arc*) dibentuk dari kontak dua kawat metal yang diisi dari tempat yang berlawanan, biasanya komposisi materialnya sama. Hal ini menyebabkan kawat tersebut mencair. Udara disemprotkan terhadap material yang telah dicairkan dan langsung menuju material substrat. Tingkat penyemprotan disesuaikan dengan kawat yang telah dicairkan, sehingga busur penyemprotan yang konstan dapat selalu dijaga. Gambar 2.5 adalah gambar mekanisme dari proses *electric arc wire spray*. Ada 2 elektroda berbentuk kawat yang memiliki tegangan positif dan negatif yang membentuk suatu kontak, lalu arus listrik mengalir dari elektroda positif menuju elektroda negatif, terjadi loncatan elektron yang menyebabkan elektroda mencair, udara bertekanan akan mendorong kawat yang telah mencair menuju material kerja, sehingga material kerja terlapisi oleh *coating*.



Gambar 2.5 *Electric Arc Wire Spray* (Metco, 2013)

2.3.4 Plasma Spray

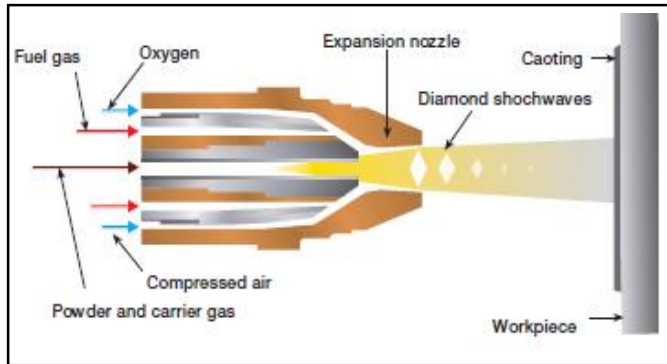
Plasma spray proses digunakan pada suatu benda yang mempunyai permukaan bahan yang mencair pada temperatur yang sangat tinggi. Sebuah sistem semprot plasma terdiri dari catu daya, sumber gas, pistol, dan mekanisme *feed powder*. *Plasma spraying* biasanya dilakukan di tempat fabrikasi. Prinsip dari *plasma spray* ditunjukkan oleh gambar 2.6, busur berfrekuensi tinggi terpantik oleh kontak antara anoda katoda tungsten. Gas mengalir melalui antara elektroda akan mengionisasi dan membentuk *plasma plume* yang menuju materia substrat.



Gambar 2.6 *Plasma Spray Process* (Metco, 2013)

2.3.5 Penyemprotan HVOF

Penyemprotan HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*) merupakan salah satu metode yang baru dari *thermal spray*. HVOF menggunakan oksigen dan bahan bakar gas pada tekanan tinggi. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah propana, propilena, dan hidrogen. Campuran gas pembakaran dipercepat dengan kecepatan supersonik. Proses *thermal* meminimalkan memasukkan dan memaksimalkan *energy kinetic* partikel untuk menghasilkan lapisan yang sangat padat dengan porositas yang rendah dan kekuatan ikatan yang tinggi. Mekanisme kerja dari proses HVOF dijelaskan oleh gambar 2.7



Gambar 2.7 Penyemprotan HVOF (Metco, 2013)

2.4 Material Coating

Pada dasarnya, jenis material yang tidak terdekomposisi pada saat dicairkan dapat digunakan sebagai material *coating*. Mengacu pada proses *thermal spray*, material *coating* tersebut dapat berupa kawat metal ataupun dalam bentuk serbuk. Pada tabel 2.1, beberapa material yang sering digunakan telah dijabarkan, bersama dengan contoh material, karakteristik, dan aplikasinya. Memilih material *coating* yang cocok digunakan untuk aplikasi tertentu memerlukan pengetahuan tentang kondisi lingkungan juga tentang material *coating* tersebut.

Selain dari karakteristik fisik, seperti koefisien ekspansi, massa jenis, konduktifitas panas, dan titik leleh, faktor tambahan, seperti ukuran partikel, distribusi ukuran partikel, dan proses pembuatan dari material serbuk (agglomerasi, disinter, komposit) akan mempengaruhi performa dari material *coating* dan hasil *coating* tersebut.



Tabel 2.1 Material Coating Dan Aplikasinya (Metco, 2013)

<i>Material Class</i>	<i>Typical Alloy</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Example Application</i>
<i>Pure Metals</i>	Zn	<i>Corrosion protection</i>	<i>Bridge construction</i>
<i>Self-fluxing alloys</i>	FeNiBSi	<i>High hardness, fused minimal porosity</i>	<i>Shaft, bearings</i>
<i>Steel</i>	Fe 13Cr	<i>Economical, wear resistance</i>	<i>Repair</i>
<i>McrAlY</i>	NiCrA/Y	<i>High temperature corrosion resistance</i>	<i>Gas turbine blades</i>
<i>Nickel-graphite</i>	Ni 25C	<i>Anti-fretting</i>	<i>Compressor inlet ducts</i>
<i>Oxides</i>	Al ₂ O ₃	<i>Oxidation resistance, high hardness</i>	<i>Textile industry</i>
<i>Carbides</i>	WC12Co	<i>Wear resistance</i>	<i>Shafts</i>

2.4.1 Al (Aluminium)

Aluminium merupakan logam non-ferrous yang paling banyak digunakan di dunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengan densitas 2.7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8.83 g/cm³), tembaga (8.93 g/cm³), atau kuningan (8.53 g/cm³), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia. Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah aluminium *alloy* merupakan jenis aluminium yang digunakan cukup besar saat ini. Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Daftar seri paduan aluminium tempa dapat dilihat pada Tabel 2.2, sedangkan untuk aluminium tuang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya.

Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa
(Rahmawati, 2010)

No. Seri	Komposisi Paduan
1xxx	Aluminium murni
2xxx	Paduan aluminium-tembaga
3xxx	Paduan aluminium-mangan
4xxx	Paduan aluminium-silicon
5xxx	Paduan aluminium-magnesium
6xxx	Paduan aluminium-magnesium-silicon
7xxx	Paduan aluminium-seng
8xxx	Paduan aluminium-timah-lithium
9xxx	Disiapkan untuk penggunaan masa depan



Tabel 2.3 Daftar Seri Paduan Alumunium Tuang (Rahmawati, 2010)

No. Seri	Komposisi Paduan
1xx.x	Aluminium murni
2xx.x	Paduand aluminium-tembaga
3xx.x	Paduan aluminium-silicon-magnesium
4xx.x	Paduan aluminium-silicon
5xx.x	Paduan aluminium-magnesium
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Paduan aluminium-seng
8xx.x	Paduan aluminium-timah
9xx.x	Belum digunakan

Aluminium adalah logam putih keperakan yang lunak. Aluminium ditemukan oleh Sir Humprey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted, tahun 1825. Secara industri Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang tefusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira - kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (corrondum, gibbsite, boelmite, diaspore, dan lain-lain). Sulit menemukan aluminium murni di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif.

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



permukaan. Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pengecoran yang tidak sempurna, material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Untungnya, aluminium murni yang dijual di pasaran adalah aluminium 99%, misalnya aluminium foil. (Ihsan, 2016)

Pembentukan dan perubahan fasa sangat tergantung pada komposisi dan suhu paduan yang dipengaruhi dan dipacu oleh kadar pepadu melalui reaksi fasa. Reaksi fasa eutektik paduan aluminium dan besi mulai terjadi pada suhu 652 °C dengan kadar 1,8% Fe dan membentuk fasa padat $\alpha+\theta$ yaitu $\text{Al}+\text{FeAl}_3$. Fasa α memiliki batas kemampuan larut padat (*solid solubility*) Fe dalam fasa α (Al) sampai maksimum 0,04% Fe pada suhu 652 °C. Fasa $\alpha+\theta$ ini merupakan hasil transformasi dari pepaduan Al dan Fe yang mengikuti hasil fasa eutektik, yaitu $\text{L} \rightarrow \alpha+\theta$ (Al Hasa, 2007).

2.5 Coating Aluminium

Sistem perlindungan korosi menggunakan *thermal spray aluminium* adalah sistem yang sangat tahan yang menawarkan perlindungan korosi secara keseluruhan dibandingkan perlindungan *coating* konvensional. Sistem perlindungan korosi *thermal spray aluminium* dilengkapi dengan perbaikan sistem sendiri dan dapat menolerir permukaan yang terkelupas 4-6% dan tidak memerlukan proteksi katodik tambahan. Sistem perlindungan korosi *thermal spray aluminium* sangat ideal untuk jenis aplikasi laut, atmosfer, bawah laut dan temperatur tinggi.

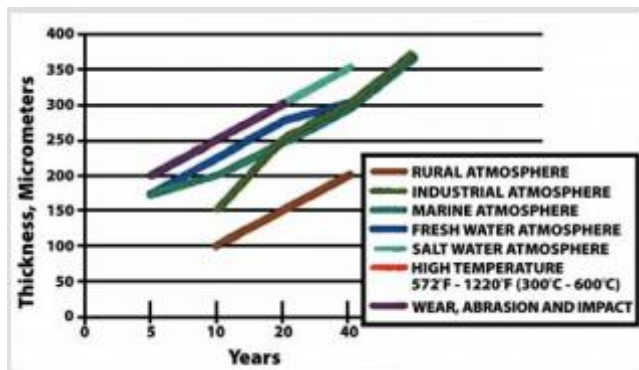
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

Menggunakan metode ini akan menghasilkan penghematan yang signifikan pada biaya perawatan jangka panjang karena penggunaan anoda korban berkurang dan perbaikan *coating* tidak diperlukan.

Sebagai tambahan, menjadi lapisan pelindung, pada lingkungan bawah laut, aluminium murni pada *thermal spray aluminium* sewaktu diaplikasikan pada logam seperti baja atau logam yang lebih rendah pada deret galvanik akan berperan menjadi anoda korban. *Thermal spray aluminium* akan mendistribusikan anoda secara menyeluruh sehingga melindungi komponen daripada mengganti anoda yang digunakan pada waktu tertentu (Technology, 2010) .



Gambar 2.8 Estimasi waktu dengan sistem perlindungan korosi *thermal spray aluminium* (Technology, 2010)



2.6 Proses Aging

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu kombinasi dari pemanasan dan pendinginan dengan waktu tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, untuk memperoleh sifat tertentu. Perlakuan panas pada aluminium paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fase tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di temperatur di bawah *solvus line*. Jika fase tunggal sewaktu pemanasan dibiarkan untuk jangka waktu tertentu maka terjadilah proses penuaan (*aging*). Perubahan akan terjadi berupa presipitasi (pengendapan) fase kedua yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya klaster atom yang menjadi awal dari presipitat. (Suherman, 2000)

Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*). Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur antara 15 °C – 25 °C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100 °C – 200 °C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Schonmetz , 1990)

Pada tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150 °C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



aluminium (Schonmetz, 1990). Proses *artificial aging* akan menyebabkan perubahan fasa dan meningkatkan kekerasan karena munculnya presipitat. Pada pengamatan struktur mikro proses *aging* akan menyebabkan unsur paduan akan menyebar lebih rata dan tersusun lebih rapat dalam matriks material substrat (Majanasatra, 2015)

2.7 Korosi

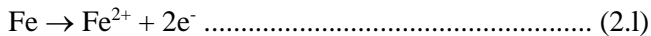
Korosi adalah serangan yang bersifat merusak pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Pada konstruksi yang terbuat dari logam maupun non logam, korosi dapat menimbulkan kerugian biaya yang sangat besar. Pada baja kapal, kerugian teknis yang akan dialami akibat terjadinya korosi adalah berkurangnya kecepatan kapal, menurunnya *fatigue life*, *tensile strength* dan berkurangnya sifat mekanis material lainnya. Ada dua aspek penting yang mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Dari sisi logam yang mempengaruhi adalah komposisi kimia dan elektroda las yang digunakan. Sedangkan dari segi lingkungan, beberapa aspek yang berpengaruh adalah kadar garam (salinitas) dan temperatur. Air laut memiliki kandungan garam sebesar 3-4% yang setara dengan salinitas 30 – 40 %. Sedangkan suhu permukannya berkisar antara 0 – 300 °C. (M. K & Nurul, 2012)

Faktor-faktor seperti temperatur, kelembaban dan kandungan bahan kimia dalam udara sangat menentukan laju korosi (Fontana, 1987; Agung, 2004). Sementara itu, komposisi logam, struktur metalurgi, dan proses pembuatan logam juga mempercepat timbulnya korosi. (American Galvanizers Association, 2000) (Sumarji, 2012).

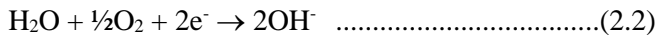


2.8 Mekanisme Korosi

Menurut Trethewey (1991), mekanisme reaksi korosi pada besi dalam baja adalah sebagai berikut: Pada anoda terjadi pelarutan besi (Fe) menjadi ion Fe^{2+} :



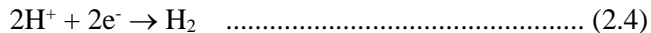
sedangkan pada katoda terjadi reaksi :



untuk lingkungan (larutan) netral maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



dan untuk lingkungan (larutan) asam maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :

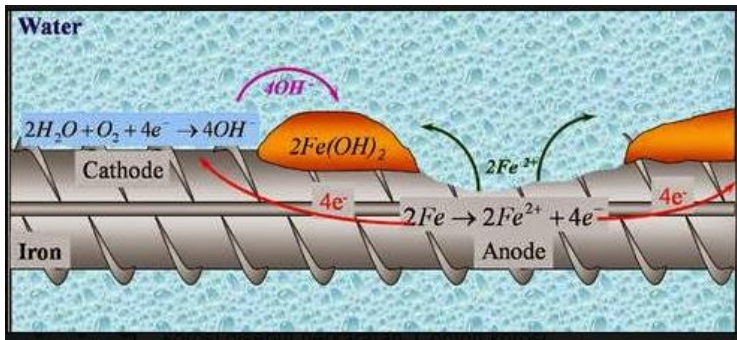


Reaksi di atas terjadi secara bertahap dan sebenarnya terjadi juga berbagai reaksi lanjutan dalam larutan. Pada peristiwa korosi, ion ferro yang terbentuk di anoda akan teroksidasi membentuk ferrokksida (*gamma iron oxide*) berbentuk lapisan sangat tipis menempel pada permukaan logam dan mencegah terlarutnya besi lebih lanjut :



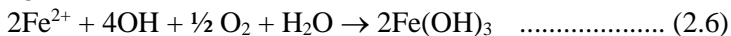
Demikian juga pada katoda oksigen harus mencapai permukaan logam agar reaksi (1) dan (2) terjadi.

Pada gambar 2.9 dijelaskan bagaimana mekanisme korosi terjadi, dimana elektron berpindah dari anoda menuju katoda sehingga ion Fe menjadi tidak stabil lalu berikatan dengan ion OH^- yang berada pada lingkungan membentuk $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ sebagai bentuk produk korosi.



Gambar 2.9 Mekanisme Korosi (Manufacturers, 2017)

Ion hidroksil yang terbentuk juga dapat terserap pada permukaan membentuk lapisan yang menghalangi penyerapan oksigen. Pada keadaan ini terjadi polarisasi katoda dan proses korosi berjalan lambat. Pada peristiwa korosi yang cepat, lapisan penghambat (pelindung) tersebut tidak sempat terbentuk, ion Fe bereaksi dengan ion hidroksil :



Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses korosi di lingkungan basah dapat terjadi apabila empat syarat terpenuhi yaitu ;

1. Ada anoda tempat reaksi anodik terjadi.
2. Ada katoda tempat reaksi katodik terjadi.
3. Ada media untuk transfer elektron / arus.
4. Ada lingkungan yang bersifat elektrolit.

(Sumarji, 2012)

2.9 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan degradasi material terhadap waktu. Pengukuran laju korosi (*corrosion rate*) secara eksperimen dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu:

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



1. Metode pengukuran kehilangan berat (*weight loss*)
2. Metode elektrokimia (tafel dan polarisasi)
3. Metode perubahan tahanan listrik

Pada metode pengukuran kehilangan berat, besarnya korosi dinyatakan sebagai besarnya kehilangan berat kupon logam yang diuji per satuan luas permukaan persatuan waktu. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

CR = Laju korosi (mm/year)
D = Densitas (gram/cm³)
W = Berat yang hilang (gram)
A = Luas permukaan (cm²)
T = Waktu (jam)

(Yusuf, 2008)

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau *mill/year* (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya.



Tabel 2.4 Tingkat Ketahanan Korosi berdasarkan Laju Korosi
(Kurniawan, 2014)

Relative Corrosion Rate	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{year}$	nm/year	pm/sec
<i>Outstanding</i>	< 1	< 0.02	< 25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1 – 5	0.02 – 0.1	25 – 100	2 – 10	1- 5
<i>Good</i>	5 – 20	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
	20 - 50	0.5 – 1	500 – 1000	50 – 100	20 – 50
<i>Poor</i>	50 - 200	42125	1000 – 5000	150 - 500	50 – 200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

(Kurniawan, 2014)

2.10 Pengendalian Korosi

Secara teoritis proses korosi tidak mungkin dicegah sepenuhnya, karena proses tersebut lebih bersifat alamiah. Namun, bagaimanapun juga usaha untuk menekan atau mencegah proses korosi semaksimal mungkin perlu dilakukan. Pengendalian korosi didasarkan pada beberapa metode, diantaranya metode yang principal adalah pengendalian korosi melalui :

- Desain dan pemilihan bahan
- Chemistry treatment* pada media korosif (penggunaan inhibitor)
- Pelapisan (*coating*)
- Proteksi Anodik
- Proteksi Katodik

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.10.1 Desain dan Pemilihan Bahan

Kedua hal ini saling berkaitan karena tahap pemilihan bahan akan sangat menentukan desain yang bagaimana akan digunakan agar korosi dapat dikendalikan. Bahan yang baik adalah yang tanpa cacat pada permukaannya, mampu, menahan beban statis dan dinamis, serta tahan terhadap korosi, namun hal ini sangat sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu dengan desain yang tepat, material yang cukup murah pun bisa memenuhi kriteria diatas. (Sulistijono, 1999)

2.10.2 Treatment Kimia pada Elektrolit

Pada media cair, pengendalian cukup dengan mengatur pH cairan, menurunkan konsentrasi oksigen, mengatur suhu, menurunkan konduktivitas *ionic*, atau bila cairan dalam jumlah banyak bisa dilakukan proteksi katodik/*ionic*, pelapisan atau penambahan inhibitor.

2.10.3 Pelapisan (*Coating*)

Secara sederhana, proses pelapisan mengendalikan korosi dengan cara memutus rantai korosi dengan melindungi logam sehingga konduktor atau kontak *metallic* tidak berfungsi sehingga *electron* tidak bisa mengalir dan korosi terhambat. Banyak jenis bahan pelapisan (*coating*) untuk menanggulangi terjadinya korosi, salah satunya dengan pelapisan logam. Lapisan metalik merupakan penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dan lingkungannya. Sifat-sifat ideal untuk bahan pelapis dari logam ini yaitu :

- a. Logam pelapis harus dapat mencegah logam melakukan kontak dengan elemen penyebab korosi (Ridlwani, 2007). Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindungi seandainya mengalami goresan pada permukaannya. Sifat-sifat fisik, seperti kelenturan dan kekerasannya, harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
- b. Metode pelapisannya harus bersesuaian dengan proses fabrikasi yang digunakan untuk produk akhir

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- c. Tebal lapisan harus merata bebas dari pori pori

Ada beberapa tahapan penting sebelum suatu logam menjalani proses pelapisan yaitu tahapan persiapannya, yang terdiri dari :

- a. Membuang semua kotoran pada permukaan seperti minyak, debu, dan serpihan dari proses produksi.
- b. Membuang produk-produk korosi yang sudah terbentuk pada permukaan.
- c. Mengatur karakteristik fisik permukaan.

Coating itu sendiri umumnya terbagi ke dalam dua jenis, yaitu *metallic coating* dan *organic coating*.

2.10.3.1 Organic Coating

Merupakan suatu metode perlindungan korosi dengan jalan mengisolasi material dari lingkungannya, dengan membentuk lapisan pelindung pada permukaan material yang akan dilindungi. Ketebalan *coating* yang dibuat pada permukaan material disesuaikan dengan lingkungan kerja material yang dilindungi, sebagai contoh lambung kapal *dicoating* dengan ketebalan 250 mikron sedangkan kaleng *dicoating* dengan ketebalan 5 mikron. Bahan-bahan penyusun *organic coating* terdiri dari :

- *Resin /film forming substances*

Merupakan zat yang tidak mudah menguap yang dapat berasal dari alam maupun sintetis. Bahan ini apabila telah mengering akan membentuk lapisan pelindung yang tipis yang kontinu pada permukaan material yang dilindungi.

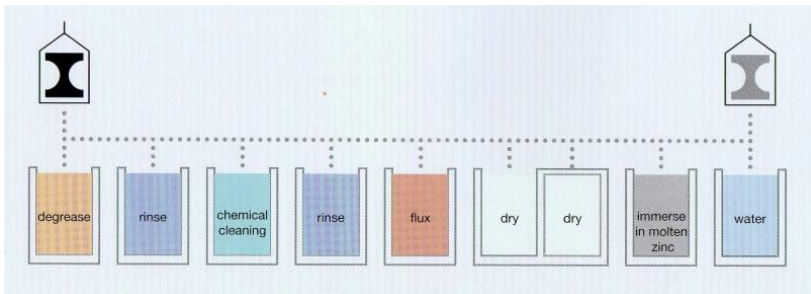
- *Dyes/pigments*
- *Solvents* : Merupakan suatu zat yang digunakan sebagai pelarut resin sehingga akan mempercepat proses pengeringan dari *coating* yang dilakukan serta mengurangi viskositas dari resin.
- *Plasticizers* : Merupakan zat yang ditambahkan untuk meningkatkan elastisitas dari lapisan *coating*



2.10.3.2 Metallic Coating

Metallic coating adalah salah satu dari klasifikasi *coating* yang menggunakan bahan *metal* sebagai material *coatingnya* untuk diaplikasikan pada permukaan substrat. Terdapat tiga macam metode yang umum digunakan yaitu *hot dip*, *electroplating*, dan *thermal sprayed* :

- *Hot dip galvanizing* : adalah suatu proses *coating* yang menggunakan metode pencelupan ke dalam bak berisi zinc cair yang telah dipanaskan pada temperatur sekitar 450°C setelah dilakukan proses *pickling* dan *fluxing*. Pada gambar 2.10 dijelaskan tahap pencelupan dari proses *hot dip galvanizing* melalui beberapa bak dengan cairan yang berbeda.



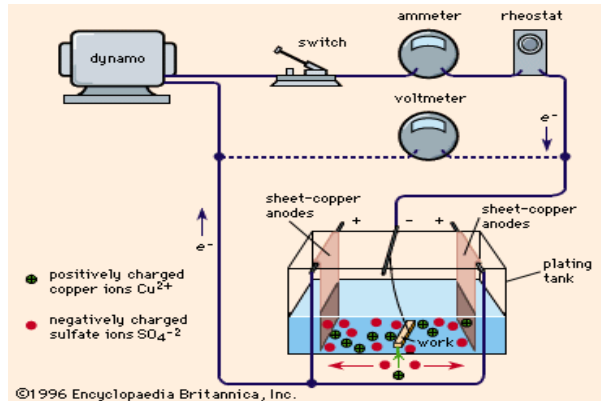
Gambar 2.10 *Hot Dip Galvanizing* (Construction, 2017)

- *Electroplating* : adalah proses *coating* yang menggunakan prinsip elektrolisis, dimana akan membentuk sebuah lapisan tipis pada permukaan substrat. Komponen dari *electroplating* ini adalah katoda, anoda, elektrolit, dan *rectifier*. Pada gambar 2.11 dijelaskan bagaimana alur dari proses *electroplating*, elektron berasal dari dinamo dan



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

akan menuju lembar tembaga anoda sehingga ion tembaga lepas menuju cairan elektrolit, lalu ion tembaga yang bebas menuju dan melapisi lembar tembaga katoda.



Gambar 2.11 Electroplating (Construction, 2017)

Thermal Sprayed : adalah proses *coating* dimana dilakukan proses penyemprotan material *coating* pada permukaan substrat. Material *coating* yang digunakan dapat berbentuk *wire* ataupun serbuk. Terdapat dua sumber energi utama yaitu energi kimia dan arus listrik. (Construction, 2017)

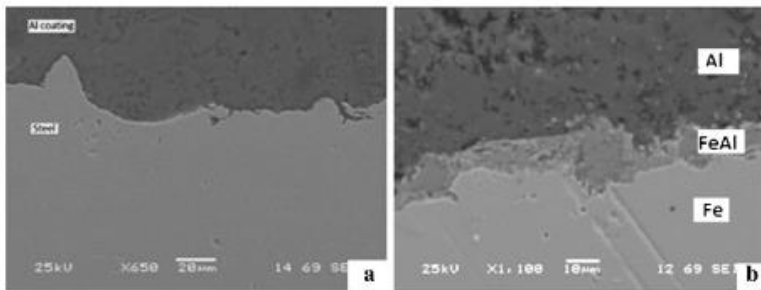
2.11 Penelitian Sebelumnya

(Ahnia Fatma, 2012) telah melakukan penelitian proses pelapisan permukaan baja menggunakan material *coating* aluminum dengan metode *electric arc spray* untuk mencegah laju korosi baja pada lingkungan air laut. Pada penelitian ini material baja yang digunakan adalah baja karbon E24, yang termasuk dalam baja karbon rendah, setelah dilakukan proses pelapisan aluminum pada permukaan baja, kemudian dilakukan proses perlakuan panas

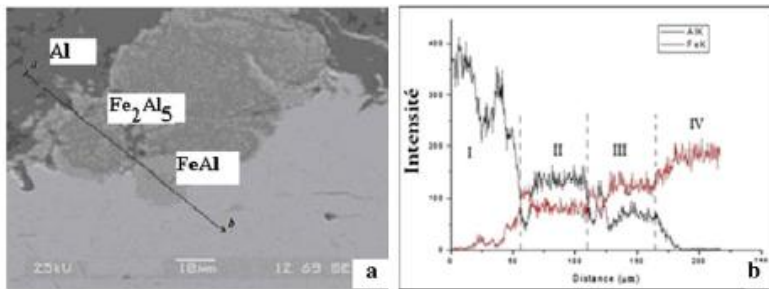
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



pada temperatur 200 sampai 600 °C. Adapun hal yang dianalisa pada penelitian ini adalah pengaruh perlakuan panas terhadap *surface* dan *interface* dari *coating* dan laju korosi pada baja. Pada karakterisasi *surface* ditemukan bahwa baja yang dipanaskan pada temperetaur rendah, kurang dari 300 °C, *coating* tidak mengalami perubahan morfologi. Pada temperatur yang lebih tinggi, diatas 400 °C, *coating* mengalami perubahan morfologi, ditemukan bentuk oksida dari *coating*. Pada karakterisasi *interface* ditemukan bahwa bila baja dipanaskan pada temperatur tinggi, akan muncul suatu lapisan baru, yaitu lapisan FeAl. Pada pengujian laju korosi disimpulkan bahwa proteksi korosi yang paling maksimal pada baja yang dipanaskan pada 200 sampai 500 °C, bila dipanaskan lebih dari 500 °C akan menimbulkan *micro-crack* yang akan menimbulkan korosi. (Ahnia, 2012)



Gambar 2.12 Mikrografi SEM dari lapisan interface a) tanpa perlakuan b) setelah 300 °C selama 2 jam (Ahnia, 2012)



Gambar 2.13 Mikrografi SEM dari lapisan interface a) setelah 500 °C b) hasil analisa EDS (Ahnia, 2012)

(Malek Muhammad Hafiz, 2013) telah melakukan penelitian analisa peforma dan mikrostruktur pelapisan aluminium 99.5% menggunakan teknik thermal arc spray, pada penelitian ini pelapisan menggunakan aluminium 99.5% berbentuk kawat dengan diameter 2.3 mm yang dilakukan dengan metode *arc spray* pada baja karbon menengah dengan massa jenis $7,86 \text{ g/cm}^3$ dan dipotong dengan panjang 150 mm, lebar 50 mm dan tebal 2 mm. 6 sampel dipersiapkan dengan perbedaan ketebalan coating antara 200 sampai 400 micron. Pengujian mekanik seperti *Pull-off Test* dan *Bend Test* dilakukan untuk mengevaluasi peforma dari coating. Pengujian mengindikasikan bahwa semua sampel lolos standar minimal dengan rata-rata 10 Mpa untuk *Pull-off Test* dan tidak ada crack yang muncul sewaktu *Bend Test*. *Hardness Test* dianalisa morfologi analisa dilakukan untuk sampel dengan ketebalan coating antara 350-400 micron untuk mengevaluasi sifat dari coating. *Hardness test* menunjukkan nilai rata-rata sebesar 209.7 HV. Analisa morfologi permukaan menggunakan FE-SEM mengindikasikan struktur porositas yang rendah dan mengandung oksida yang tinggi. Dari semua hasil percobaan dan analisa



ditemukan bahwa ditemukan bahwa *thermal arc spray* menjadi metode *coating* yang efektif. (Malek, 2013)

Tabel 2.5 Hasil *Pull-off Test* dan *Bend Test* (Malek, 2013)

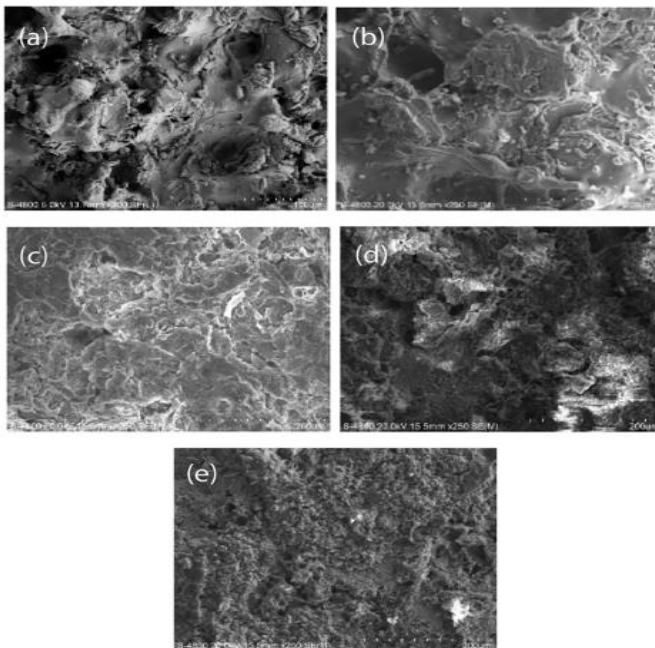
Samples	Pull-off Test Result (MPa)	Bend Test Result
1	10,74	Pass
2	9,38	Pass
3	9,8	Pass
4	11,16	Pass
5	11,53	Pass
6	12,38	Pass

(Zhou Jianxin, 2017) telah melakukan proses penelitian pelapisan aluminium pada baja P355NL1, lalu baja P355NL1 yang telah dilapisi aluminium dilakukan proses perlakuan panas *annealing* dengan temperatur yang bervariasi. Efek dari *annealing* pada komposisi fasa, morfologi, dan difusi unsur dianalisa menggunakan X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), dan energy dispersive spectroscopy (EDS). Hasilnya ditemukan pori-pori kecil dan banyak droplet pada permukaan coating secara bertahap menghilang dengan naiknya temperatur *annealing*. Sementara itu, Cr bisa berdifusi menuju lapisan atas coating pada temperatur 900 °C. Ketebalan lapisan difusi pada interface meningkat dari 6 menjadi 113 µm ketika temperatur *annealing* meningkat dari 600 °C hingga 900 °C. *Coating* yang dianil pada temperatur 700 °C terdiri dari fasa tunggal Fe₂Al₅. *Coating* yang dianil pada temperatur 800 °C dan 900 °C menjadi berpori dan longgar. Selain Fe₂Al₅, fasa aluminium murni, fasa Fe₃Al, dan bentuk senyawa intermetalik Cr-Al-Si ditemukan pada interface sewaktu substrat dianil pada 700 °C.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pada substrat yang dicoating pada temperatur 800 °C dan 900 °C, senyawa antara *coating* dan baja P355NL1 menjadi lebih kompleks, dan bentuk senyawa ternier yang lebih banyak. *Coating* relatif sempurna pada temperatur anil sekitar 700 °C dan 800 °C. (Jianxin, 2017)



Gambar 2.14 Hasil SEM dari aluminium yang telah dianil pada temperatur a) waktu pelapisan b) 600 °C c) 700 °C d) 800 °C e) 900 °C (Jianxin, 2017)

(Khandjou, 2017) mempublikasikan sebuah jurnal yang bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh dari waktu semprot

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



aluminium coating pada strktur mikro dan sifat korosi. Pada proses penelitian digunakan *self-generated atmospheric plasma spray* untuk coating aluminium pada substrat baja. Perbedaan ketebalan *coating* dibuat pada penelitian ini. Untuk mengevaluasi pengaruhnya digunakan beberapa analisa seperti *X-ray diffraction*, *scanning electron microscope*, *micro hardness* dengan metode vickers, kekuatan adhesif dan uji polarisasi kimia. Hasilnya menunjukkan porositas yang rendah. *Micro hardness* test menunjukkan semakin tebal lapisan yang dimiliki semakin baik nilai *micro hardness* dari spesimen tersebut. Selanjutnya, uji kekuatan adhesif menunjukkan kekuatan adhesif tertinggi didapatkan dengan waktu semprot yang terlama. Pada sifat ketahan korosi dari coating diinvestigasi dengan uji polarisasi kimia, menunjukkan bahwa sifat ketahanan korosi meningkat dengan meningkatnya ketebalan *coating* yang disebabkan oleh porositas yang rendah. (Khandjou, 2017)



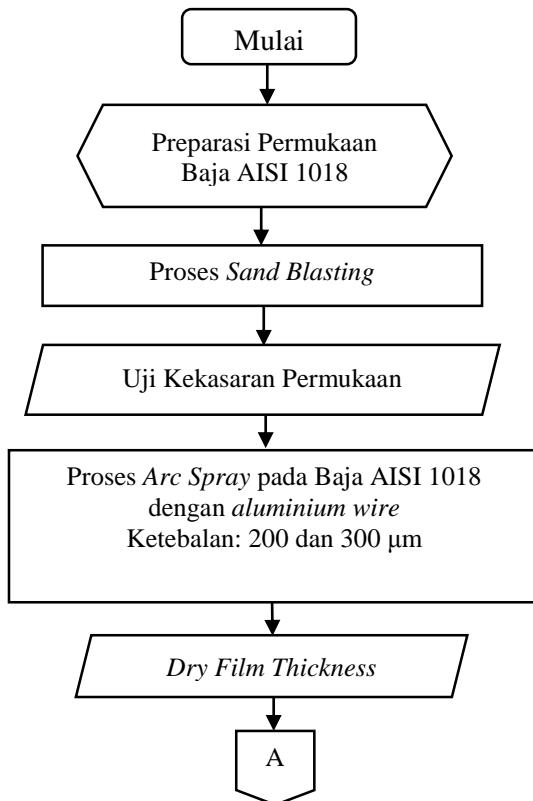
(Halaman Sengaja Dikosongkan)

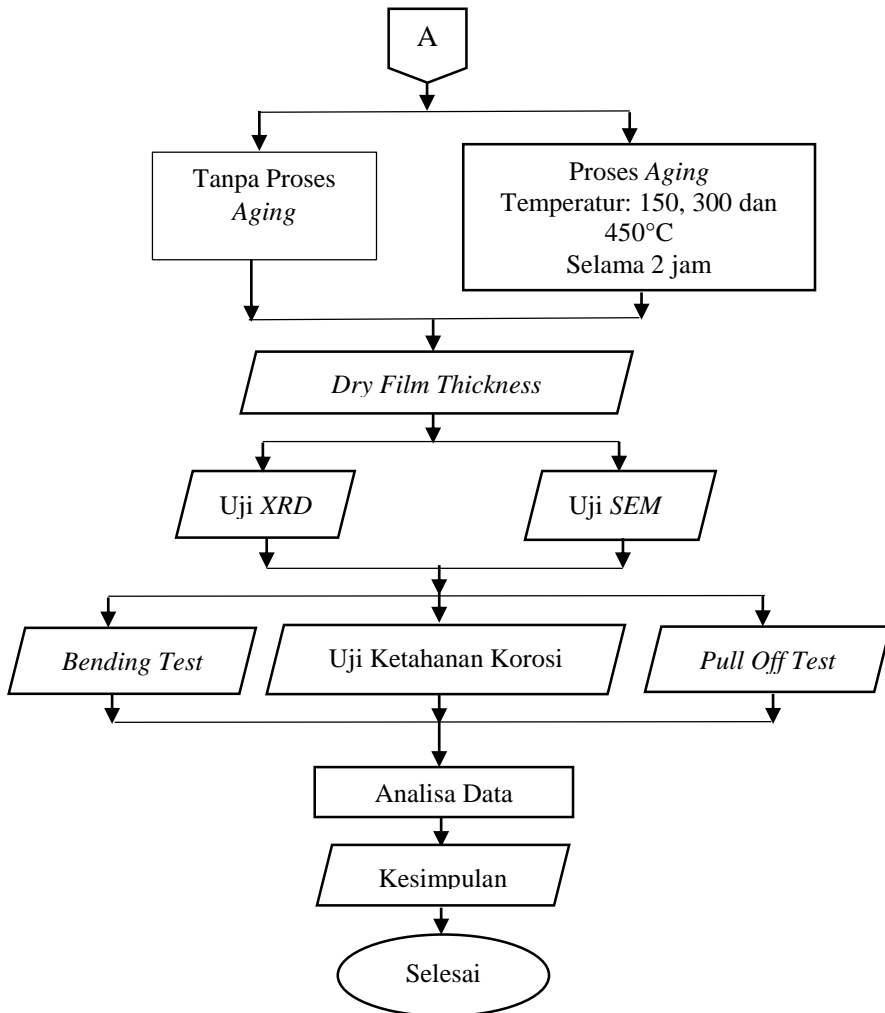


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir



3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada perancangan ini antara lain :

1. Studi Literatur
Metode ini mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal terbaru, informasi dan penelitian dari situs industri yang mempelajari mengenai permasalahan korosi atmosferik terutama yang membahas mengenai korosi pada air laut dan metode *coating* dengan menggunakan *arc sprayed*.
2. Diskusi
Tahapan ini dilakukan untuk menambah wawasan tambahan agar penulis dapat lebih memahami tentang masalah dan solusi penelitian yang dilakukan. Diskusi dilakukan dengan dosen pembimbing penelitian, teman-teman, dan perusahaan terkait.
3. Eksperimental
Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini adalah: uji kekerasan permukaan, uji kekerasan mikro, *dry film thickness*, uji ketahanan korosi, XRD, SEM, *pull off test*, dan *bending test*.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Timbangan kimia
2. Gelas Plastik
3. Kertas Amplas
4. Spatula
5. Furnace
6. *Epoxy Adhesive Strength*
7. Lem Araldite
8. Gunting
9. Pipa



10. *Arc and Fused Spray Gun*
11. *Sand Blasting*
12. *Sample holder*
13. *Elcometer*
14. *SEM Inspection S50*
15. *XRD Panalytical x'pert pro*

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Baja AISI 1018, sebagai substrat yang diproteksi dengan komposisi sebagai berikut (sesuai sertifikat) :

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 1018

Unsur	Kadar (%)
C (karbon)	0.15 max
Mn (mangan)	0.60 max
P (fosfor)	0.100 max
S (sulfur)	0.50 max

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Baja AISI 1018

Sifat Mekanik	Baja AISI 1018
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	38,7
Kekuatan luluh (kg/mm ²)	20,5
Perpanjangan (%)	25
Kekerasan Brinel	111



1. Baja AISI 1018

Baja AISI 1018 berbentuk plat digunakan untuk menguji karakteristik ikatan yang terjadi antara material *coating* dan substrat, serta untuk mengetahui senyawa yang terkandung setelah dilakukan proses *coating* dan *aging* dan juga mengetahui ketahanan korosi material *coating* aluminium setelah proses perlakuan panas *aging*, kemudian menganalisisnya. Dimensi dari baja AISI 1018 ini adalah 2,5 x 2,5 x 0,5 cm, 2,5 x 2,5 x 0,5 cm, 10 x 5 x 0,5 cm, dan 5 x 5 x 0,5 cm.

2. Kawat aluminium dengan kemurnian 99,80%

Tabel 3.3 Sifat Mekanik Aluminium Murni

Sifat Mekanik	Aluminium 99%
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9
Kekuatan luluh (kg/mm ²)	1,3
Perpanjangan (%)	48,8
Kekerasan Brinel	17

3. Larutan NaCl 3,5%

3.4 Proses Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Proses *Sand Blasting* pada permukaan Baja AISI 1018

Sebelum dilakukannya proses *arc sprayed*, dibutuhkan permukaan yang bersih dan kasar agar material *coating* dapat menempel pada permukaan substrat baja AISI 1018. Proses *sand blasting* adalah bagian dari *surface preparation* yang berfungsi untuk membersihkan permukaan agar terbebas dari pengotor dan membuka pori-



pori dari spesimen agar *coating* dapat melekat lebih kuat. Proses *blasting* disini menggunakan proses *abrasive grit blasting*, dengan ukuran mesh sebesar 24 mesh.



Gambar 3.2 Alat Proses *Sand Blasting*

2. Proses *Arc Spray* pada Baja AISI 1018
Proses ini dilakukan setelah melakukan *sand blasting* pada baja AISI 1018. Proses *arc spray* menggunakan *material feedstock aluminium wire* berdiameter 1.6 mm. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam proses ini :
 - ➔ Tegangan 28V – 32V
 - ➔ Arus berdasarkan dengan kecepatan kawat
 - ➔ Sudut *Spray* 90⁰
 - ➔ Jarak penyemprotan 15 cm
 - ➔ Ketebalan 200 μ m dan 300 μ m
 - ➔ Tekanan udara 4 bar



Gambar 3.3 Proses Arc Spray

3. Proses *Aging* pada Baja AISI 1018
Setelah dilakukan proses coating pada baja AISI 1018. Selanjutnya, dilakukan proses perlakuan panas *aging* pada Baja AISI 1018 dan di dalam *furnace*. Ada beberapa parameter yang digunakan dalam proses ini :
 - ➔ Temperatur 150, 300 dan 450°C
 - ➔ Waktu proses *aging* selama 2 jam



Gambar 3.4 Proses Aging

3.5 Proses Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian yang dilakukan mencakup tujuh (7) pengujian, yaitu :

1. *Surface Roughness Test* pada Baja AISI 1018

Sebelum dilakukan proses *coating*, terlebih dahulu dilakukan proses *sand blasting* pada permukaan baja AISI 1018 dan kemudian diukur kekasaran permukaannya sebelum dan sesudah dilakukan proses *sand blasting*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai penambahan kekasaran permukaan yang terjadi.



Gambar 3.5 Alat Uji *Surface Roughness*

2. *Dry Film Thickness*

Untuk mendapatkan ketebalan *coating* Al pada baja AISI 1018, dilakukanlah pengujian *dry film thickness* (DFT). Untuk mengkalibrasi agar hasil yang didapat akurat, pada saat sebelum DFT ini diaplikasikan ke material *coating*, digunakan kertas tipis yang terdapat angka standar ketebalan *coating*nya. Uji *dry film thickness* menggunakan prinsip kerja induksi elektromagnetik. Alat uji yang digunakan untuk DFT adalah elcometer seperti pada gambar 3.6. Pada spesimen dengan *non-magnetic coating* pada *magnetic substrate* prinsip kerja yang digunakan pada pengujian ketebalan lapisan *coating* adalah induksi elektromagnetik, komponen yang ada pada alat uji DFT adalah *probe* yang terdiri dari sebuah magnet permanen yang dililit oleh kumparan dan sebuah generator *hall-effect* dan juga LCD. Magnet permanen digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Medan magnet tersebar melewati *non-magnetic coating*, sewaktu medan magnet sampai pada permukaan substrat yang magnetik maka generator *hall-effect* akan merasakan perubahan kerapatan fluks magnetik.



Sewaktu perubahan kerapatan fluks magnetik terdeteksi, sebuah kumparan pengukuran mengukur medan magnet. Sinyal pengukuran yang diperoleh diubah menjadi nilai ketebalan lapisan melalui fungsi output *probe* karakteristik. Hasil dari pengukuran ketebalan lapisan dimunculkan pada LCD. Langkah pada DFT ini adalah:

- ➔ Membersihkan permukaan *coating* dari kotoran yang menempel dengan kertas tissue
- ➔ Menentukan lokasi pengujian dan membuat agar luas permukaan uji berjarak 10 mm dari sisi benda uji
- ➔ Melihat hasil pengukuran tebal *coating* pada substrat pada alat uji DFT



Gambar 3.6 Alat Uji DFT

3. SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Analisis SEM merupakan metode yang dapat memberikan informasi mengenai komposisi dari permukaan benda secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis SEM dilakukan untuk mengukur pertambahan ketebalan lapisan alumina yang merupakan hasil dari



proses *coating arc spray* baja AISI 1018 dengan aluminium wire setelah dilakukan proses *aging*. Mekanisme kerja analisis SEM ini yakni baja AISI 1018 yang berukuran 2,5 x 2,5 x 0,5 cm yang telah dilakukan proses *coating* kemudian dipotong, diresin, diletakkan di atas *storage* kemudian ditembak elektron. Data hasil pemindaian sinar elektron berupa gambar dari permukaan spesimen. Pantulan sinar elektron akan menghasilkan sebuah gambar dari pemindaian permukaan. Dari gambar tersebut dianalisis melalui area gelap terang dan topografi permukaan spesimen. Tipe alat SEM yang digunakan adalah SEM *Inspect S50*.



Gambar 3.7 Alat Uji SEM *Inspect S50*

4. XRD (*X-Ray Diffraction*) pada Baja AISI 1018 Tercoating

Analisis XRD merupakan metode yang dapat memberikan informasi mengenai jenis senyawa yang terdapat dalam suatu material. Analisis XRD dilakukan untuk membuktikan ada atau tidaknya unsur Fe yang bereaksi dengan air laut. Mekanisme kerja analisis XRD ini yakni baja AISI 1018 yang telah dilakukan proses *coating* dan direndam di air laut, berukuran 2,5 x 2,5 x 0,5 cm, ditempatkan dalam *sample holder* yang terdapat dalam XRD kemudian ditembak sinar X. Data hasil penyinaran Sinar X berupa spektrum difraksi. Sinar X dideteksi oleh detektor dan kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik *peak* intensitas. Kemudian dianalisis senyawa yang



terbentuk dari grafik tersebut dengan cara melihat 3 *peak* tertinggi yang terdapat pada grafik dengan menggunakan *software* tertentu sehingga dapat menghasilkan suatu data. Tipe alat uji XRD yang digunakan adalah XRD Panalytical x'pert pro



Gambar 3.8 Alat Uji XRD Panalytical x'pert pro

5. Uji Ketahanan Korosi

Uji ketahanan korosi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi ketahanan korosi yang terjadi pada substrat yang telah terlindungi oleh lapisan *coating*. Langkah-langkah untuk menentukan nilai ketahanan korosi pada penelitian ini yaitu :

- ➔ Menyiapkan sampel baja AISI 1018 tercoating sebanyak 8 buah dengan, ketebalan *coating* dan temperatur proses *aging* yang berbeda
- ➔ Mengisi gelas plastik dengan air laut, kemudian melakukan proses *immerse* baja AISI 1018 yang telah tercoating aluminium ke dalam media air laut.
- ➔ Waktu untuk proses *immerse* baja AISI 1018 tersebut adalah 15 hari.
- ➔ Melakukan pengamatan makro terhadap spesimen kemudian melihat perubahan akibat korosi yang terjadi pada plat baja AISI 1018 yang telah tercoating.



6. Pull Off Test pada Baja AISI 1018 Tercoating

Pada proses *arc spray coating*, kekuatan adhesi dari substrat dan material *coating*-nya diuji dengan pengujian *Pull Off Strength* sesuai dengan standar **ASTM D4541** (D4541-09e1, 2009). Pengujian *pull off* ini berfungsi untuk mengetahui nilai gaya adhesi yang terjadi antara material *coating* dan permukaan baja AISI 1018. Langkah uji *pull off* adalah :

- ➔ Membersihkan permukaan *coating* dari kotoran yang menempel dengan kertas tissue
- ➔ Menentukan lokasi pengujian dan membersihkan permukaan tersebut menggunakan kertas amplas no. 400
- ➔ Mempersiapkan *dolly* dan bersihkan permukaan *dolly* menggunakan kertas *abrasive* no. 200
- ➔ Melapisi permukaan *coating* dengan lem araldite
- ➔ Meletakkan permukaan *dolly* pada permukaan *coating* yang telah dilapisi oleh lem araldite
- ➔ Menunggu minimum 12 jam mengacu pada *manual instruction* pada lem araldite
- ➔ Menarik *dolly* dengan alat *adhesion tester* hingga *dolly* terlepas, dan catat angka yang ditunjukkan pada alat *adhesion tester*.



Gambar 3.9 Alat Uji *Pull Off*



7. *Bending Test* pada Baja AISI 1018 Tercoating

Bending test adalah salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah material *coating* tersebut masih tetap menempel atau tidak pada permukaan baja AISI 1018 setelah dilakukan proses penekukan melalui pengamatan visual. Pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan metode *side bend*. Standar yang biasa digunakan adalah **ASTM D-522** (D522M-13, 2013). Bagian dari *bending* berbentuk silinder dengan diameter kecil yang konstan. proses penekukan material dilakukan dengan cara manual, yaitu material substrat baja AISI 1018 dengan tebal 0,5 cm ditekuk hingga mencapai sudut sebesar 90°. Kemudian setelah ditekuk, diamati apakah terjadi pengelupasan atau material *coating* tetap menempel pada susbtrat. Langkah pada pengujian *bending* adalah :

- ➔ Membersihkan permukaan *coating* dari kotoran yang menempel dengan kertas tissue
- ➔ Letakkan sampel uji pada alat uji bending, masukkan plat berukuran maksimal 5 mm di antara silinder penekuk yang berada di tengah plat uji *bending*
- ➔ Putar tuas yang memegang drawbar menggunakan tangan sebesar 90 ° selama 1 detik.
- ➔ Membersihkan dan segera periksa kondisi tekukan pada sampel uji *coating* dengan mata, analisa apakah ada pengelupasan di daerah tekukan.



Gambar 3.10 Alat Uji Bending

3.6 Pengkodean

Untuk memudahkan penyebutan seluruh variabel penelitian dalam proses penelitian maka dilakukan pengkodean, dengan keterangan seperti tabel di bawah :

Tabel 3.4 Pengkodean

Material	Variabel	Kode
Plat Baja AISI 1018	200 nm	S.1018-C.Al200Thc-0Ag
	200 nm-150 °C	S.1018-C.Al200Thc-150Ag
	200 nm-300 °C	S.1018-C.Al200Thc-300Ag
	200 nm-450 °C	S.1018-C.Al200Thc-450Ag
	300 nm	S.1018-C.Al300Thc-0Ag
	300 nm-150 °C	S.1018-C.Al300Thc-150Ag
	300 nm-300 °C	S.1018-C.Al300Thc-300Ag
	300 nm-450 °C	S.1018-C.Al300Thc-450Ag



3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan proses penelitian selama percobaan, disusun rancangan penelitian yang dilakukan berupa tabel yang meliputi pengamatan terhadap masing-masing spesimen. Tabel tersebut dirancang sebagai berikut :

Tabel 3.5 Tabel Perancangan

Material	Variabel	Surface Roughness	DFT	Bending	Ketahanan Korosi	Pull Off	Mikroskop Optik	SEM	XRD
Plat Baja AISI 1018	S.1018-C.AI200Thc-0Ag	✓	✓	✓	✓	✓			
	S.1018-C.AI200Thc-150Ag	✓	✓	✓	✓	✓			
	S.1018-C.AI200Thc-300Ag	✓	✓	✓	✓	✓			
	S.1018-C.AI200Thc-450Ag	✓	✓	✓	✓	✓			
	S.1018-C.AI300Thc-0Ag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	S.1018-C.AI300Thc-150Ag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	S.1018-C.AI300Thc-300Ag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	S.1018-C.AI300Thc-450Ag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.8 Jadwal Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama kurang lebih 4 (empat) bulan dengan rincian kegiatan setiap tahap seperti tertera pada tabel 3.6 berikut :

Tabel 3.6 Jadwal Penelitian

Waktu Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Konsultasi Kepada Pembimbing																
Penyusunan Laporan																
Preparasi Spesimen																
Proses <i>Coating Arc Spray</i>																
Pengujian Dry Film Thickness																
Proses <i>Aging</i>																
Pengujian Bending																
Pengujian Pull Off Testt																
Pengujian Ketahanan Korosi																
Pengujian XRD																
Pengujian SEM																





BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018

Pengujian kekasaran substrat dilakukan untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan material substrat. Hasil pengujian kekasaran permukaan material substrat dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018

Kode	Surface Roughness (μm)	Surface Roughness Average (μm)
S.1018-C.AI200Thc-0Ag	24	22,125 \pm 2,531
S.1018-C.AI200Thc-150Ag	21	
S.1018-C.AI200Thc-300Ag	18	
S.1018-C.AI200Thc-450Ag	22	
S.1018-C.AI300Thc-0Ag	24	
S.1018-C.AI300Thc-150Ag	22	
S.1018-C.AI300Thc-300Ag	26	
S.1018-C.AI300Thc-450Ag	20	

Dari tabel di atas didapatkan rata-rata nilai kekasaran permukaan spesimen substrat baja AISI 1018 sebesar 22,125 $\mu\text{m} \pm 2,531 \mu\text{m}$.



4.1.2 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018 Setelah Proses *Sand Blasting*

Setelah dilakukan proses *sand blasting* untuk membersihkan pengotor dan mengasarkan permukaan material substrat, dilakukan juga pengujian kekasaran permukaan yang dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekasaran Permukaan Baja AISI 1018
Setelah Proses *Sand Blasting*

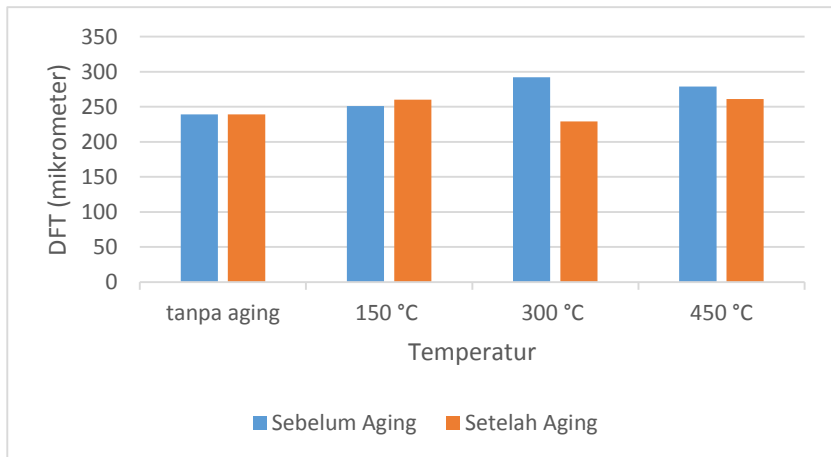
Kode	Surface Roughness (μm)	Surface Roughness Average (μm)
S.1018-C.Al200Thc-0Ag	92	95,125 \pm 3,681
S.1018-C.Al200Thc-150Ag	94	
S.1018-C.Al200Thc-300Ag	102	
S.1018-C.Al200Thc-450Ag	98	
S.1018-C.Al300Thc-0Ag	95	
S.1018-C.Al300Thc-150Ag	90	
S.1018-C.Al300Thc-300Ag	96	
S.1018-C.Al300Thc-450Ag	94	

Pengukuran kekasaran permukaan ini dilakukan di 1 titik untuk setiap spesimen. Dari tabel di atas didapatkan rata-rata nilai kekasaran permukaan spesimen substrat baja AISI 1018 setelah proses *sand blasting* sebesar 95.125 \pm 3,681 μm .



4.1.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan *Coating* Pada Baja AISI 1018 Sebelum dan Setelah Proses *Aging*

Sebelum dan setelah proses *aging* dilakukan pada substrat, dilakukan uji ketebalan lapisan *coating* pada substrat.

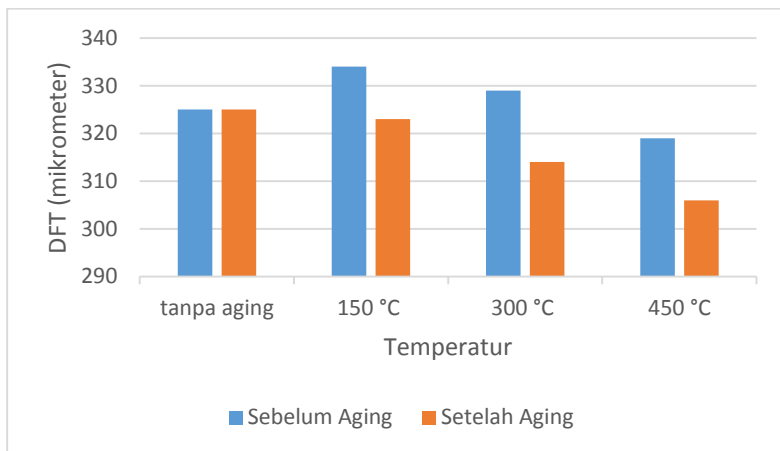


Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Ketebalan Lapisan *Coating* Variasi Kontrol Ketebalan 200 Mikron Sebelum dan Setelah Proses *Aging*

Gambar 4.1 menunjukkan ketebalan lapisan pada variasi kontrol ketebalan *coating* 200 mikron sebelum dan setelah proses *aging*, pada variasi kontrol tebal 200 mikron tanpa proses *aging*, spesimen memiliki tebal aktual 239 mikron sebelum proses *aging* dan 239 mikron setelah proses *aging*, tidak ada perubahan ketebalan yang terjadi. Pada variasi kontrol tebal 200 mikron proses *aging* pada 150 °C, spesimen memiliki tebal aktual 251 mikron sebelum proses *aging* dan 260 mikron setelah proses *aging*, terjadi pertambahan ketebalan sebesar 0,3%. Pada variasi kontrol tebal 200 mikron proses *aging* pada 300 °C, spesimen memiliki tebal aktual 292 mikron



sebelum proses *aging* dan 229 mikron setelah proses *aging*, terjadi pengurangan ketebalan sebesar 21,5%. Pada variasi kontrol tebal 200 mikron proses *aging* pada 450 °C, spesimen memiliki tebal aktual 279 mikron sebelum proses *aging* dan 261 mikron setelah proses *aging*, terjadi pengurangan ketebalan sebesar 6,4%.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Ketebalan Lapisan *Coating* Variasi Kontrol Ketebalan 300 Mikron Sebelum dan Setelah Proses *Aging*

Gambar 4.2 menunjukkan ketebalan lapisan pada variasi kontrol ketebalan *coating* 300 mikron sebelum dan setelah proses *aging*, pada variasi kontrol tebal 300 mikron tanpa proses *aging*, spesimen memiliki tebal aktual 325 mikron sebelum proses *aging* dan 325 mikron setelah proses *aging*, tidak ada perubahan ketebalan yang terjadi. Pada variasi kontrol tebal 300 mikron proses *aging* pada 150 °C, spesimen memiliki tebal aktual 334 mikron sebelum proses *aging* dan 323 mikron setelah proses *aging*, terjadi pengurangan ketebalan sebesar 3,3%. Pada variasi kontrol tebal 300 mikron proses



aging pada 300 °C, spesimen memiliki tebal aktual 329 mikron sebelum proses *aging* dan 314 mikron setelah proses *aging*, terjadi pengurangan ketebalan sebesar 4,5%. Pada variasi kontrol tebal 300 mikron proses *aging* pada 450 °C, spesimen memiliki tebal aktual 319 mikron sebelum proses *aging* dan 306 mikron setelah proses *aging*, terjadi pengurangan ketebalan sebesar 4,0%. Di bawah adalah tabel hasil uji ketebalan lapisan *coating* sebelum dan setelah proses *aging* untuk seluruh variabel penelitian.

Tabel 4.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan Coating Sebelum dan Setelah Proses *Aging*

Kode	DFT sebelum aging (μm)	DFT sesudah aging (μm)	Perbedaan (%)
S.1018-C.Al200Thc-0Ag	239	239	0
S.1018-C.Al200Thc-150Ag	251	260	+ 0.3
S.1018-C.Al200Thc-300Ag	292	229	-21.5
S.1018-C.Al200Thc-450Ag	279	261	-6.4
S.1018-C.Al300Thc-0Ag	325	325	0
S.1018-C.Al300Thc-150Ag	334	323	-3.3
S.1018-C.Al300Thc-300Ag	329	314	-4.5
S.1018-C.Al300Thc-450Ag	319	306	-4.0

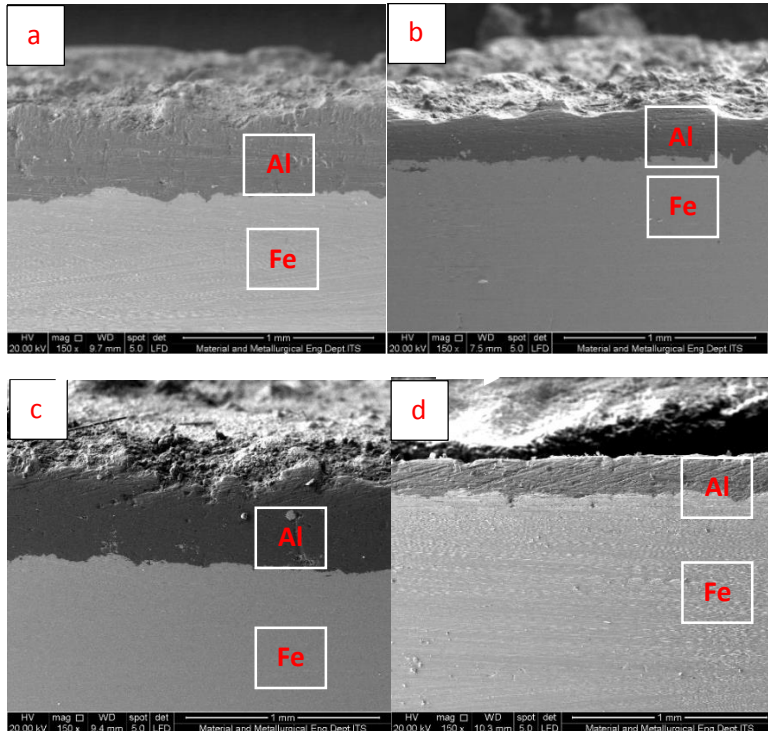
4.1.4 Analisa *Scanning Electron Microscope* Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses *Aging*

Untuk mengetahui morfologi *interface* spesimen baja AISI 1018 *tercoating* maka dilakukan analisa menggunakan SEM untuk seluruh spesimen dengan ketebalan *coating* 300 mikron, pemilihan analisa SEM ketebalan *coating* 300 mikron dipilih karena memiliki

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



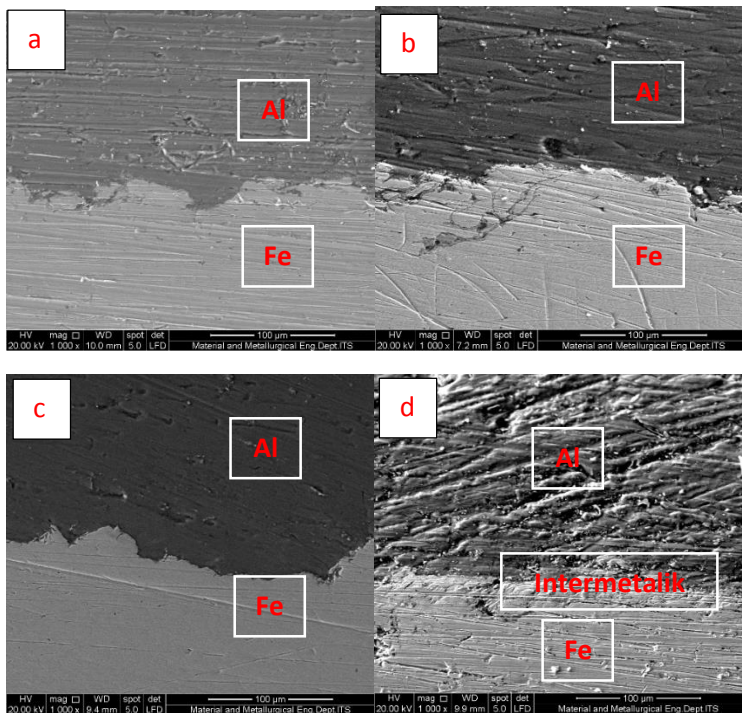
nilai *pull off test* yang paling tinggi dibandingkan dengan ketebalan *coating* 200 mikron. Pada gambar 4.3 dapat dilihat pengamatan *cross section* substrat dengan SEM pada perbesaran 150x.



Gambar 4.3 Analisa SEM pada morfologi *interface* baja AISI 1018 setelah *coating* ketebalan 300 mikron perbesaran 150x : (a) tanpa *aging* (b) *aging* 150 °C selama 2 jam c) *aging* 300 °C selama 2 jam (d) 450 °C selama 2 jam

Untuk mengetahui lebih jelas karakterisasi morfologi *interface* spesimen baja AISI 1018 dilakukan analisa SEM pada perbesaran 1000x yang dapat dilihat pada gambar 4.4

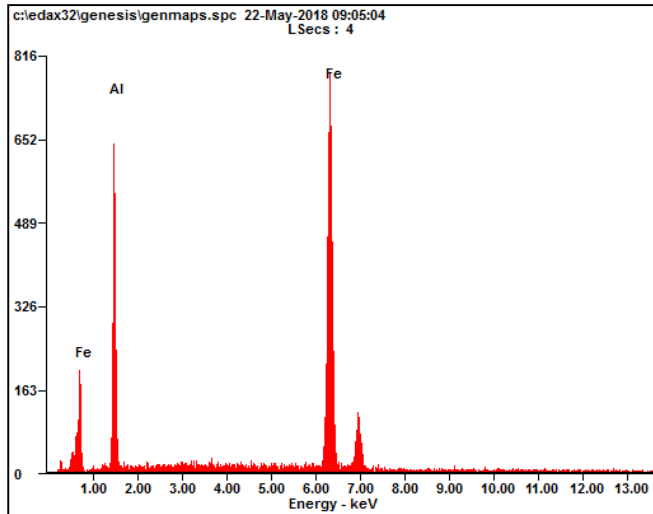
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.4 Analisa SEM pada morfologi *interface* baja AISI 1018 setelah *coating* ketebalan 300 mikron perbesaran 1000x : (a) tanpa *aging* (b) *aging* 450 °C selama 2 jam c) *aging* 300 °C selama 2 jam (d) *aging*-450 °C selama 2 jam

Pada spesimen tanpa proses *aging* dan dengan proses *aging* 150 °C dan 300 °C ditemukan lapisan *coating* aluminium dan substrat baja, pada spesimen dengan proses *aging* pada 450 °C selama 2 jam terbentuk lapisan baru di antara lapisan baja dan lapisan *coating* aluminium, yang diindikasikan adalah lapisan senyawa intermetalik.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.5 Grafik Hasil EDAX pada Lapisan antara *Coating* Aluminium dan Substrat Spesimen dengan Proses *Aging* pada 450 °C Selama 2 Jam

Pada gambar 4.5 adalah hasil EDAX pada yang terbentuk pada spesimen dengan temperatur proses *aging* 450 °C selama 2 jam, lapisan yang terbentuk diindikasikan adalah lapisan senyawa intermetalik antara unsur Fe dan Al, komposisi kimia lapisan yang terbentuk ini ditunjukkan dengan hasil EDAX pada tabel 4.4.



Tabel 4.4 Komposisi hasil EDAX pada lapisan antara *coating* aluminium dan substrat spesimen dengan *proses aging* pada 450 °C selama 2 jam

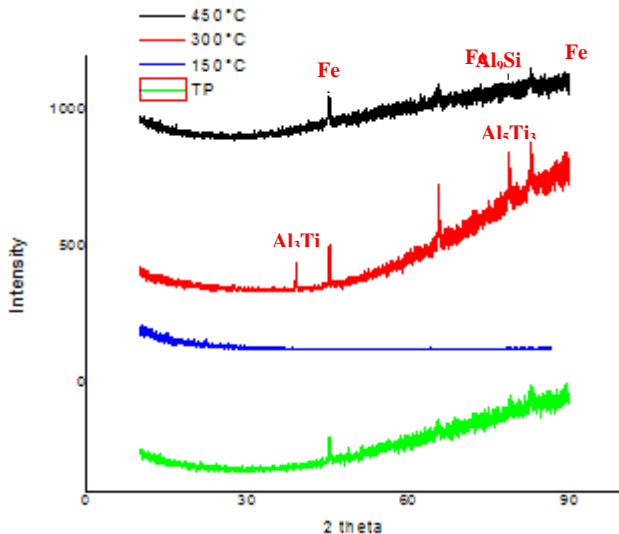
Element	Wt%	At%
Al	24.51	40.19
Fe	75.49	59.81
Matrix	Correction	ZAF

Pada tabel 4.4 dijelaskan komposisi unsur hasil EDAX titik pada lapisan senyawa intermetalik yang terbentuk pada spesimen dengan *proses aging* pada 450 °C selama 2 jam yang terdiri dari 40% aluminium dan 60% besi.

4.1.5 Analisa X-Ray Diffraction Pada Baja AISI 1018

Tercoating Setelah Proses Aging

Analisa XRD dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa yang terdapat pada *interface* baja AISI 1018 setelah coating, analisa XRD dilakukan pada seluruh temperatur untuk spesimen dengan ketebalan *coating* aluminium 300 µm. Namun pada spesimen dengan proses *aging* temperatur 150 °C hasil XRD tidak terdeteksi senyawa intermetalik Fe-Al karena dimensi spesimen tidak sesuai spesifikasi dimensi alat uji XRD, sehingga hasil uji XRD tidak terbaca. Hasil uji XRD dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah



Gambar 4.6 Analisa XRD pada *interface* baja AISI 1018 setelah *coating* ketebalan 300 mikron tanpa proses *aging*, proses *aging* pada 150 °C, 300 °C dan 450 °C

Dari hasil pengujian XRD pada spesimen tanpa proses *aging*, didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi sesuai pada gambar 4.6 grafik berwarna hijau adalah besi dan Al_3Si memiliki *peak* yang paling cocok dengan grafik XRD. Hasil pengujian XRD pada spesimen dengan proses *aging* pada temperatur 300 °C didapatkan senyawa yang teridentifikasi sesuai pada gambar 4.6 grafik berwarna merah adalah besi dan Al_3Ti . Hasil pengujian XRD pada spesimen dengan proses *aging* pada temperatur 450 °C didapatkan senyawa yang teridentifikasi sesuai pada gambar 4.6 berwarna hitam adalah besi. Pada semua spesimen

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



tidak didapatkan *peak* yang mengidentifikasi adanya senyawa FeAl yang terbentuk sesuai tujuan awal penelitian.

4.1.6 Hasil Pengujian *Pull Off* Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses Aging

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Pull Off*

Kode	Nilai Pull Off Titik 1 (MPa)	Nilai Pull Off Titik 2 (MPa)
S.1018-C.AI200Thc-0Ag	2,02 (kohesi)	2,54 (adhesi)
S.1018-C.AI200Thc-150Ag	3,03 (kohesi)	6,07 (adhesi)
S.1018-C.AI200Thc-300Ag	5,51 (kohesi)	6,61 (adhesi)
S.1018-C.AI200Thc-450Ag	5,43 (kohesi)	7,19 (adhesi)
S.1018-C.AI300Thc-0Ag	3,12 (kohesi)	6,14 (adhesi)
S.1018-C.AI300Thc-150Ag	5,42 (kohesi)	5,98 (adhesi)
S.1018-C.AI300Thc-300Ag	5,50 (kohesi)	7,94 (adhesi)
S.1018-C.AI300Thc-450Ag	7,43 (kohesi)	8,23 (adhesi)

Setelah dilakukan proses *coating* dan proses *aging* pada baja AISI 1018, dilakukan juga pengujian *pull off test*. Dari hasil pengujian *pull off test* diatas didapatkan nilai gaya adhesi yang terjadi pada material *coating* dan substrat. *Pull off test* dilakukan pada 2 titik. Pada titik pertama terjadi kegagalan kohesi dan pada titik kedua terjadi kegagalan adhesi pada permukaan material substrat. Dari hasil uji *pull off*, terdapat peningkatan baik pada kegagalan kohesi maupun kegagalan adhesi, dengan nilai uji *pull*


BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

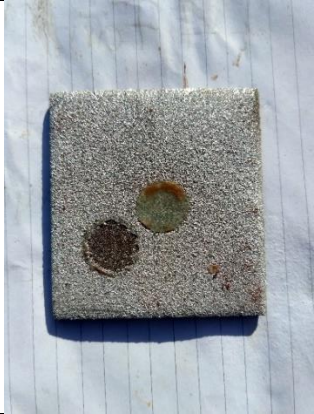

off tertinggi adalah 8.23 MPa pada spesimen ketebalan *coating* 300 mikron dengan proses *aging* pada temperatur 450 °C. Nilai uji *pull off* kegagalan adhesi secara keseluruhan lebih tinggi dibandingkan nilai uji *pull off* kegagalan kohesi. Hasil pengujian *pull off* dapat dilihat pada tabel 4.5 di atas.

Tabel 4.6 Pengamatan Visual Hasil Pengujian *Pull Off*
(5x5 cm)

Kode	Gambar Spesimen	Keterangan
S.1018- C.A1200Thc- 0Ag		Di satu titik Di titik pojok kiri bawah terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi adhesi 50% dan kohesi 50%.





Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.A1200Thc- 150Ag		Di titik pojok kiri bawah terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi
S.1018- C.A1200Thc- 300Ag		Di titik pojok kiri bawah terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN





Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.A1200Thc- 450Ag		Di titik pojok kiri atas terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi
S.1018- C.A1300Thc- 0Ag		Di titik pojok kiri atas terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.A1300Thc- 150Ag		Di titik pojok kiri atas terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi
S.1018- C.A1300Thc- 300Ag		Di titik pojok kiri atas terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi adhesi 30% dan kohesi 70%.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



S.1018- C.A1300Thc- 450Ag		Di titik pojok kiri atas terjadi 100% adhesi, sedangkan di titik tengah terjadi 100% kohesi
---------------------------------	---	---


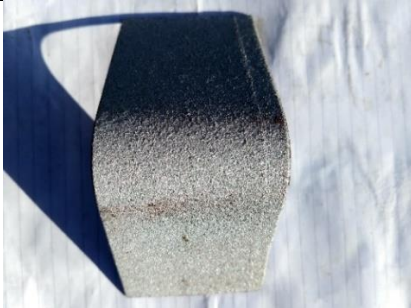

Terlihat bahwa setelah dilakukan pengujian *pull off*, permukaan substrat memiliki dua hal yang dapat diamati. Hal yang pertama adalah permukaan substrat yang kembali terlihat setelah dilakukan pengujian *pull off*, kemudian hal yang kedua adalah warna putih yang merupakan material *coating* aluminium itu sendiri. Dari tabel 4.6 di atas, melalui pengamatan visual setelah dilakukam pengujian *pull off*, setiap spesimen material *coating* aluminium mengalami dua jenis kegagalan yang berbeda, kegagalan yang terjadi adalah kegagalan adhesi dan kegagalan kohesi.

4.1.7 Hasil Pengujian *Bending* Baja AISI 1018 *Tercoating* *Setelah Proses Aging*

Untuk mengetahui karakteristik ikatan yang terjadi antara material *coating* dan substrat selain pengujian *pull off*, dilakukan juga pengujian *bending* dan dilakukan pengamatan secara visual yang dapat dilihat pada tabel 4.7.



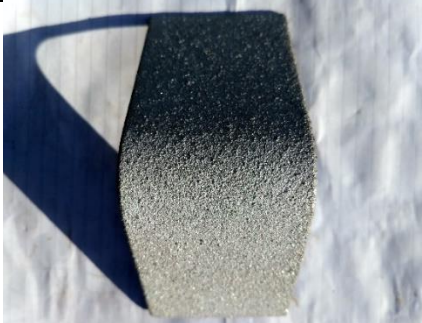


Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Bending*

Kode	Gambar Spesimen	Keterangan
S.1018- C.A1200Thc- 0Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat
S.1018- C.A1200Thc- 150Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat
S.1018- C.A1200Thc- 300Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat





Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.Al200Thc- 450Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat
S.1018- C.Al300Thc- 0Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat
S.1018- C.Al300Thc- 150Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



S.1018- C.Al300Thc- 300Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat
S.1018- C.Al300Thc- 450Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel secara sempurna menunjukkan daya rekat yang baik dengan substrat

. Hasil dari uji *bending* menunjukkan lapisan aluminium pada seluruh spesimen masih menempel secara sempurna pada material substrat dan tidak ditemukan adanya pengelupasan, hal ini membuktikan lapisan aluminium tidak mengalami kegagalan dan deformasi aluminium sebagai *coating* dapat mengikuti deformasi baja sebagai substrat.

4.1.8 Hasil Pengujian Ketahanan Korosi Baja AISI 1018

Tercoating Setelah Proses Aging

Pengujian ketahanan korosi ini dilakukan untuk mendapatkan seberapa besar ketahanan korosi yang terjadi pada material *coating* aluminium setelah proses *aging* dengan



mengacu pada temperatur proses *aging* dan ketebalan lapisan aluminium. Pengujian dilakukan selama 15 hari di dalam larutan NaCl 3,5%, berikut adalah tabel data kondisi spesimen setelah uji ketahanan korosi.

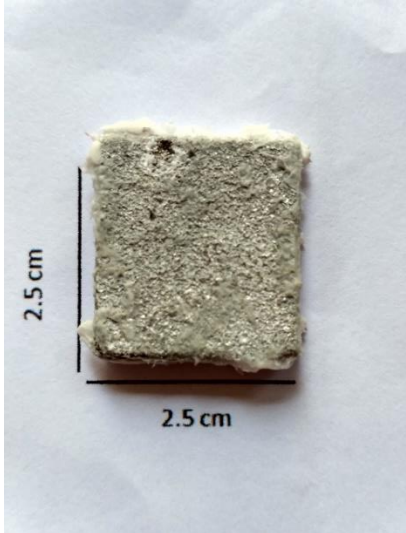
Tabel 4.8 Hasil Uji Ketahanan Korosi Pada Plat Baja AISI 1018 Tercoating Setelah Proses *Aging*

Kode	Ketahanan Korosi
S.1018-C.AI200Thc-0Ag	X
S.1018-C.AI200Thc-150Ag	V
S.1018-C.AI200Thc-300Ag	V
S.1018-C.AI200Thc-450Ag	V
S.1018-C.AI300Thc-0Ag	X
S.1018-C.AI300Thc-150Ag	V
S.1018-C.AI300Thc-300Ag	V
S.1018-C.AI300Thc-450Ag	V

Berdasarkan pada data tabel 4.8 hasil pengujian ketahanan korosi, didapatkan bahwa spesimen tanpa proses *aging* mengalami kebocoran hingga material substrat terlihat. Hasil pengamatan makro hasil uji ketahanan korosi dapat dilihat pada tabel 4.9

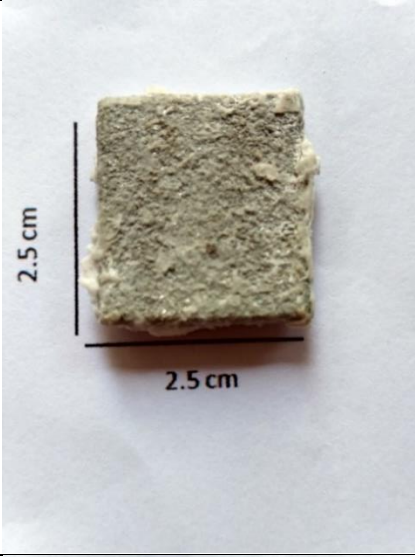
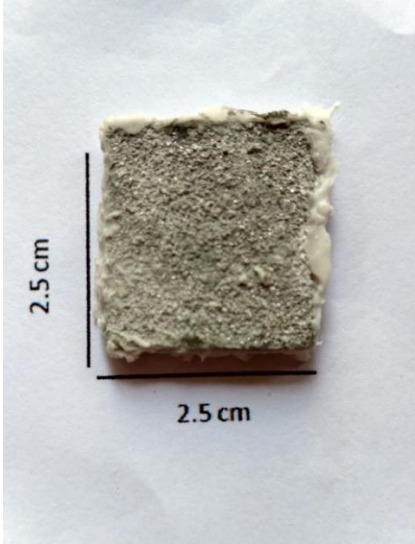


Tabel 4.9 Hasil Pengamatan Makro Pengujian Ketahanan Korosi Pada Plat Baja AISI 1018

Kode	Gambar Spesimen	Keterangan
S.1018-C.A1200T hc-0Ag		Lapisan coating terkelupas dan baja terlihat akibat proses korosi

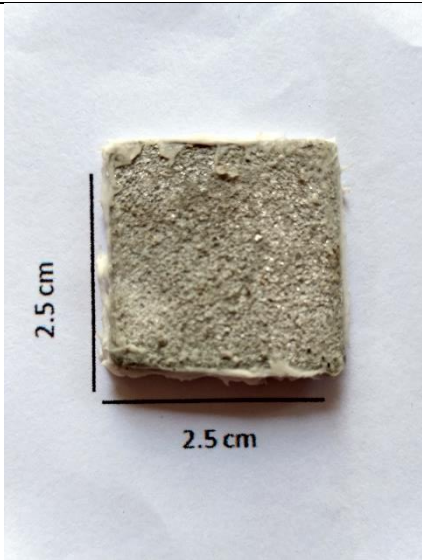
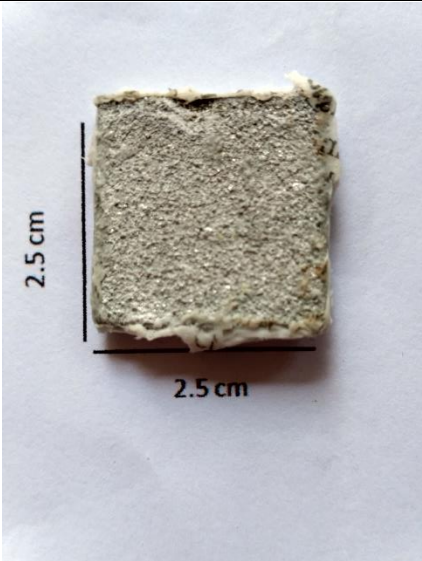


Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.AI200T hc-150Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak tekелupas
S.1018- C.AI200T hc-300Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak tekелupas

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

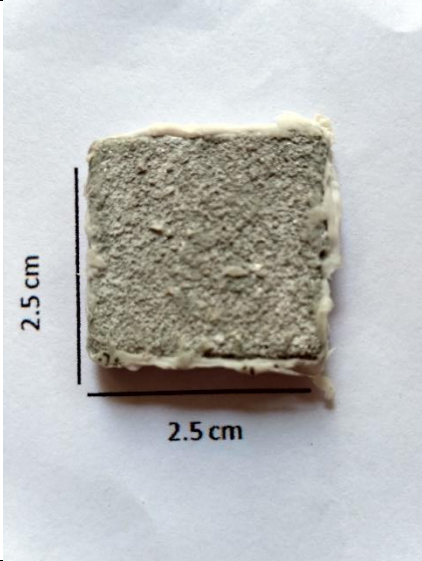
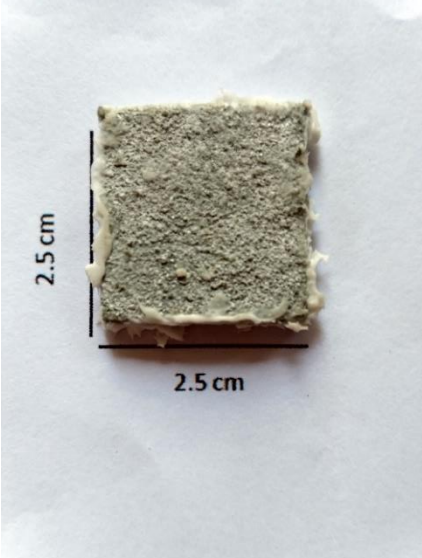


S.1018- C.AI200T hc-450Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak terkelupas
S.1018- C.AI300T hc-0Ag		Lapisan <i>coating</i> terkelupas dan baja terlihat akibat proses korosi

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

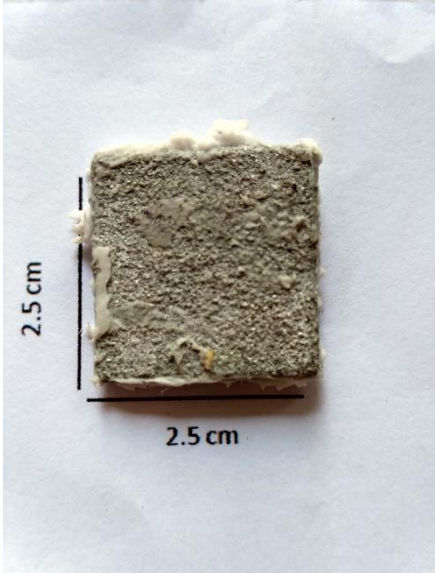


Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material FTI-ITS

S.1018- C.A1300T hc-150Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak tekелupas
S.1018- C.A1300T hc-300Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak tekелupas

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



S.1018- C.A1300T hc-450Ag		Lapisan <i>coating</i> masih menempel dan tidak tekelupas
---------------------------------	---	--

4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur proses *aging* dan ketebalan lapisan aluminium hasil *arc spray* pada baja terhadap *coating integrity* dan ketahanan korosi pada lingkungan air laut. Hal pertama yang dapat ditinjau adalah nilai kekasaran permukaan substrat yang mengacu pada tabel 4.1. Rata-rata nilai kekasaran permukaan substrat adalah 22.125 μm . Setelah itu dilakukan proses *sand blasting* untuk membersihkan dari pengotor dan mengasaskan permukaan, Pada tabel 4.2 dapat dilihat rata-rata nilai kekasaran permukaan setelah proses *sand blasting* adalah 95.125 μm , dengan nilai kekasaran yang meningkat ini juga maka memperbesar kontak antara material *coating* dan permukaan substrat dan memudahkan untuk terjadinya mekanisme *interlocking* sehingga *coating* dapat berpenetrasi secara optimal pada

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



permukaan material substrat dan menyebabkan ikatan antara *coating* dan material substrat menjadi baik.

Selanjutnya, jika melihat hasil yang terdapat pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan tabel 4.3, didapatkan nilai ketebalan *coating* aluminium hasil *arc spray* sebelum dan setelah proses *aging*. Ketebalan *coating* tertinggi sebelum proses *aging* didapat pada spesimen ketebalan *coating* 300 mikron dengan proses *aging* pada 150 °C. Sedangkan, ketebalan *coating* aluminium hasil *arc spray* tertinggi setelah proses *aging* didapatkan pada spesimen ketebalan *coating* 300 mikron tanpa proses *aging*, pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa proses *aging* mereduksi ketebalan lapisan aluminium, pengurangan terbesar ketebalan lapisan aluminium adalah pada spesimen dengan ketebalan 200 mikron yang melalui proses *aging* pada temperatur 300 °C.

Pada sub bab 4.1.4 dilakukan pengamatan mikro melalui SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada *cross section* spesimen untuk mengamati morfologi *interface* spesimen, dapat dilihat pada gambar 4.4 (a),(b),(c) dan (d) adalah gambar morfologi *interface* untuk spesimen dengan ketebalan *coating* 300 mikron tanpa proses *aging* dan temperatur proses *aging*, 150, 300 dan 450 °C selama 2 jam perbesaran 1000x. Pada temperatur proses *aging* di bawah 450 °C, terlihat material substrat dan *coating* aluminium, namun sewaktu spesimen dilakukan proses *aging* 450 °C muncul lapisan baru antara material substrat dan *coating* aluminium, hasil EDAX lapisan baru tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4, komposisi kimia dari lapisan senyawa intermetalik baru tersebut adalah 60 Fe (at%) dan 40 Al (at%). Pada gambar 4.6 dijelaskan grafik hasil XRD untuk speimen dengan *coating* ketebalan 300 mikron, pada gambar 4.6 grafik berwarna hijau yaitu spesimen tanpa perlakuan *aging* ditemukan fasa besi dan Al_3Si pada gambar 4.6

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



grafik berwarna merah yaitu spesimen dengan proses *aging* pada temperatur 300 °C, ditemukan fasa besi dan Al_3Ti , pada gambar 4.6 grafik berwarna hitam, spesimen dengan proses *aging* pada temperatur 450 °C, ditemukan fasa besi dan Al_9Si . Tidak ditemukan senyawa intermetalik Fe dan Al yang terbentuk akibat proses *aging* pada seluruh spesimen pada pengujian XRD, hal ini disebabkan karena lapisan senyawa intermetalik yang tipis sehingga tidak terbaca oleh alat uji XRD. Proses *aging* menyebabkan terbentuknya lapisan senyawa intermetalik baru antara *coating* dan baja, dengan semakin naiknya temperatur *aging*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatma Ahnia, dengan naiknya temperatur proses perlakuan panas maka memunculkan lapisan senyawa intermetalik baru antara *coating* dan substrat (Ahnia, 2012). Karena terbentuknya lapisan senyawa intermetalik menjadi indikasi penyebab berkurangnya ketebalan lapisan *coating* aluminium akibat proses *aging*.

Pada tabel 4.5 dapat dilihat hasil pengujian *pull off* pada spesimen untuk seluruh variabel penelitian, pengujian *pull off* dilakukan sebanyak 2 kali, pada titik pertama pada seluruh spesimen mengalami kegagalan kohesi atau *glue failure*, hal ini disebabkan karena gaya kohesi antar partikel *coating* lebih kuat daripada gaya adhesi antara *coating* dan material substrat. Pada titik kedua terjadi kegagalan adhesi yang dibuktikan dengan permukaan substrat yang terlihat setelah uji *pull off*. Terjadi dua jenis kegagalan yang berbeda pada spesimen yang sama menandakan bahwa kualitas *coating* aluminium memiliki daya lekat yang tidak merata terhadap permukaan material substrat. Dari hasil uji *pull off* terlihat hasil yang menunjukkan peningkatan yang sebanding dengan naiknya temperatur proses *aging* untuk ketebalan yang sama. Kenaikan ketebalan *coating* juga meningkatkan kekuatan adhesi antara *coating* dan material



substrat. Hal ini disebabkan mekanisme *bonding* menjadi lebih baik dengan mulai terbentuknya lapisan senyawa intermetalik. Persyaratan minimum untuk kekuatan adhesi adalah 7 MPa, ketika kekuatan adhesi dari suatu spesimen dibawah 7 MPa maka *coating* termasuk gagal atau ditolak (Malek, 2013). Sehingga dari total spesimen 8 variabel penelitian, hanya 3 variabel yang memenuhi persyaratan minimum untuk kekuatan adhesi, yaitu spesimen dengan ketebalan *coating* 200 mikron temperatur proses *aging* 450 °C dan ketebalan *coating* 300 mikron temperatur proses *aging* 300 °C dan 450 °C. Kekuatan adhesi terbesar terdapat pada spesimen ketebalan *coating* 300 mikron temperatur proses *aging* 450 °C yaitu sebesar 8.23 MPa.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan uji *bending* pada semua variabel penelitian. Pada tabel 4.7 ditunjukkan hasil uji *bending*, dari seluruh spesimen diketahui bahwa tidak ada spesimen yang mengalami pengelupasan *coating*, dapat dilihat bahwa *coating* aluminium masih menempel secara sempurna pada permukaan substrat, hal ini disebabkan karena aluminium sebagai pelapis memiliki sifat deformasi plastis yang baik dan dapat mengimbangi deformasi plastis baja sebagai substrat, dapat disimpulkan bahwa seluruh spesimen memenuhi persyaratan minimum yaitu tidak ada *crack* hingga *coating* terangkat (Malek, 2013).

Pada tabel 4.8 dapat dilihat hasil uji ketahanan korosi untuk seluruh variabel penelitian, spesimen direndam selama 15 hari di dalam larutan NaCl 3,5% untuk mengetahui perubahan yang terjadi, pada tabel 4.9 dapat dilihat hasil pengamatan makro uji ketahanan korosi, pada spesimen dengan ketebalan 200 dan 300 mikron tanpa proses *aging* ditemukan *coating* yang mengelupas dan lubang hasil korosi sehingga material substrat terlihat, untuk spesimen yang melalui proses *aging* tidak ditemukan produk korosi yang menyebabkan hingga material

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



substrat terlihat, hal ini menandakan bahwa proses *aging* setelah proses *coating* memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan spesimen yang *dicoating* tanpa proses *aging*. Dari pembahasan yang sudah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa lapisan senyawa intermetalik Fe dan Al hasil proses *aging* bermanfaat meningkatkan sifat mekanik dari *coating* dengan bukti hasil uji *pull off* dan uji *bending* dan proses *aging* pada *coating* memberikan ketahanan korosi yang lebih baik.



(Halaman Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan temperatur proses *aging* memunculkan lapisan intermetalik baru antara *coating* dan material substrat, pada proses *aging* pada temperatur 450 °C ditemukan senyawa intermetalik baru, yaitu lapisan senyawa intermetalik Fe dan Al.
2. Hasil dari uji *pull off*, peningkatan ketebalan *coating* aluminium dan temperatur proses *aging* meningkatkan daya lekat antara *coating* dan material substrat.
3. Lapisan senyawa intermetalik Fe dan Al berperan meningkatkan *coating integrity* dan ketahanan korosi pada baja AISI 1018.

5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan mengenai penelitian ini antara lain :

1. Proses *coating* dilakukan untuk semua sisi.
2. Pengujian ketahan korosi dilakukan dengan waktu yang lebih lama agar data yang didapatkan semakin akurat.
3. Dilakukan uji kekerasan agar semakin menguatkan perihal sifat mekanik antara *coating* dan substrat.



(Halaman Sengaja Dikosongkan)

Daftar Pustaka

Ahnia, F., 2012. Evaluation of aluminum coatings in simulated marine environment. pp. 232-236.

Al Hasa, M. H., 2007. Formasi Fasa Dan Mikrostruktur Bahan Struktur Paduan Aluminium Fero-Nikel Hasil Proses Sintesi. *ISSN 0216 - 3128*, p. 38.

Construction, S., 2017. *steel Construction*. [Online] Available at: http://www.steelconstruction.info/Metallic_coatings

Construction, S., 2017. *Steel Construction*. [Online] Available at: http://www.steelconstruction.info/Metallic_coatings

D4541-09e1, A., 2009. *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*, West Consoshocken: ASTM International.

D522M-13, A. D. /., 2013. *Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings*, West Consoshocken: ASTM International.

G31-72, A., 2004. *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*, ASTM International, West Consoshocken: ASTM International.

Ihsan, E. E., 2016. Aluminium. p. 3.

Jianxin, Z., 2017. Annealing behavior of aluminum coating prepared by arc spraying on. pp. 53-60.

Khandjou, S., 2017. the detailed analysis of the spray time effects of the aluminium coating using self-generated atmospheric plasma

spray system on the microstructure and corrosion behaviour. p. 1440.

Kurniawan, A. Y., 2014. Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 4, pp. G-1.

Leonard, J., 2015. Distribusi Tingkat Karat Dan Laju Korosi Baja ST 37 Dalam Lingkungan Air Laut. Volume 6, p. 565.

M. K, S. N. & Nurul, M., 2012. Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut Terhadap Laju Korosi Baja A36 Pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 1, pp. G-75.

Majanasastra, R. b. S., 2015. Pengaruh Variabel Waktu (Aging Heat Treatment) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro Kepala Piston Sepeda Motor Honda Vario. 3(2), p. 90.

Malek, M. H., 2013. Performance and Microstructure Analysis of 99.5% Aluminium Coating by Thermal Arc Spray Technique. p. 558.

Manufacturers, A. C., 2017. *The Portland Cement Association*. [Online]
[Accessed 23 February 2018].

Metco, S., 2013. *An Introduction To Thermal Sprayed*. Kelsterbach Jerman: Sulzer Metco.

Rahmawati, Z. S., 2010. *Analisis Pengaruh Sr dan Ti Terhadap Ketahanan Korosi Paduan AC4B*, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Suherman, W., 2000. *Ilmu Logam I*. Surabaya: s.n.

Sulistijono, 1999. *Diktat Kuliah Korosi*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri ITS.

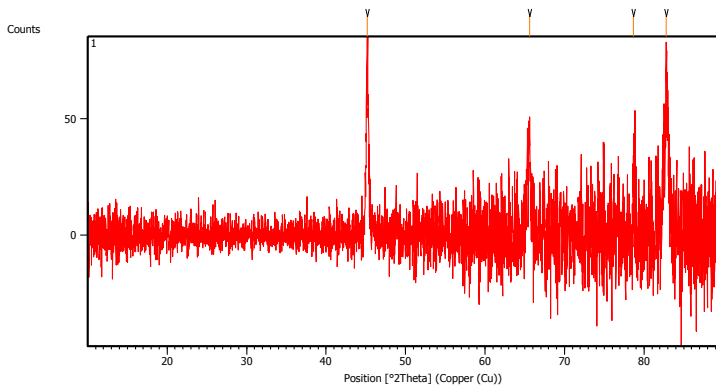
Sumarji, 2012. EVALUASI KOROSI BAJA KARBON RENDAH ASTM A36 PADA LINGKUNGAN ATMOSFERIK DI KABUPATEN JEMBER. *ROTOR*, Volume 5, p. 44.

Technology, P. S., 2010. *Thermal Sprayed Aluminium (TSA) Corrosion Protection System for the Offshore Oil and Gas Industry*. Indianapolis: s.n.

Yusuf, S., 2008. *Laju Korosi Pipa Baja Karbon A106 Sebagai Fungsi Temperatur dan Konsentrasi NaCl pada Fluida yang Tersaturasi Gas CO₂*, Jakarta: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

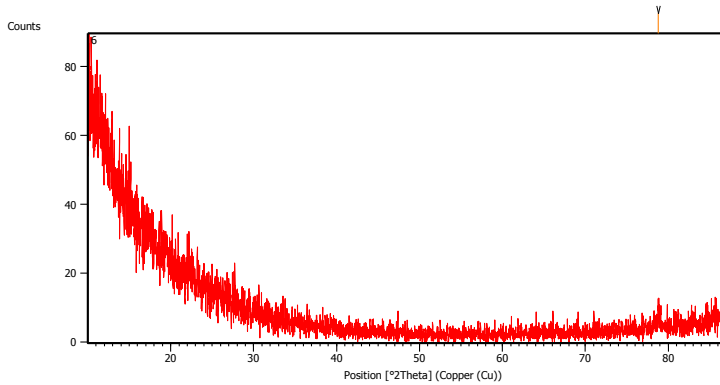
1. Uji XRD spesimen ketebalan 300 mikron tanpa perlakuan



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
45.2094	80.92	0.2342	2.00571	100.00
65.5796	47.81	0.2007	1.42355	59.08
78.6834	24.20	0.8029	1.21610	29.91
82.8095	69.57	0.3346	1.16566	85.98

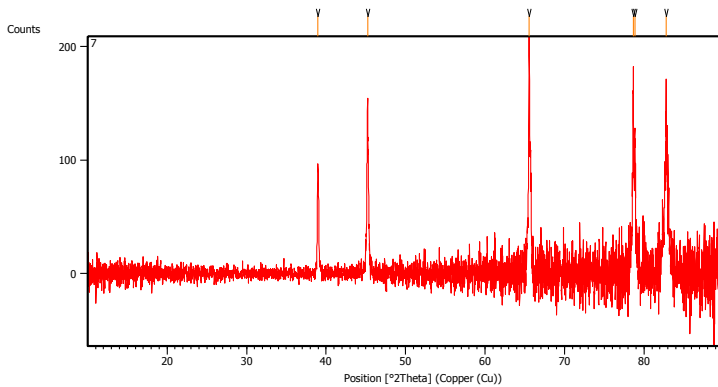
2. Uji XRD ketebalan 300 mikron proses *aging* 150 °C



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
78.8156	5.75	0.4896	1.21338	100.00

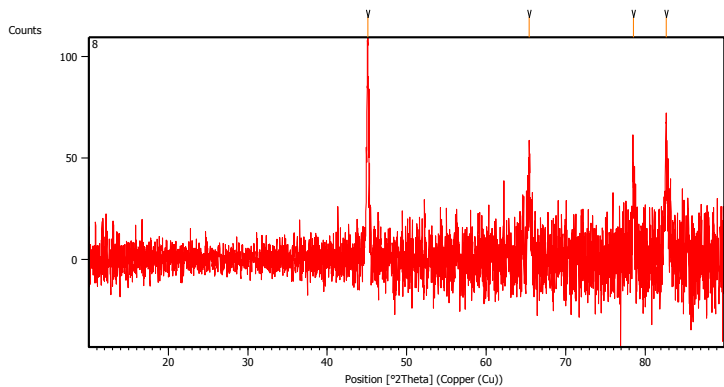
3. Uji XRD ketebalan 300 mikron proses *aging* 300 °C



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.9569	86.96	0.1004	2.31199	42.33
45.2546	125.28	0.1673	2.00381	60.98
65.5357	205.46	0.0816	1.42322	100.00
78.6453	163.34	0.1020	1.21558	79.50
78.8762	113.83	0.1224	1.21260	55.40
82.8099	122.05	0.3346	1.16566	59.40

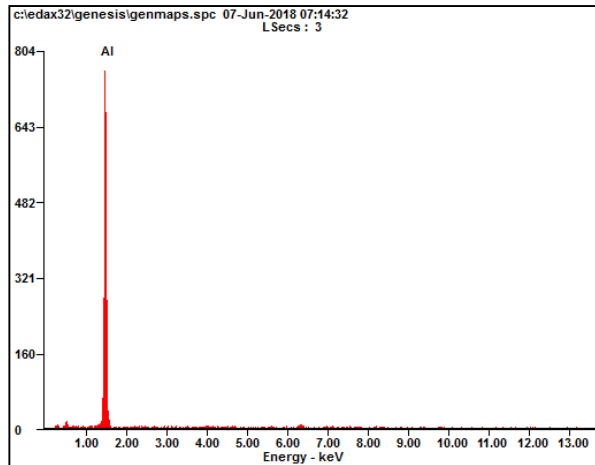
4. XRD ketebalan 300 mikron proses *aging* 400 °C



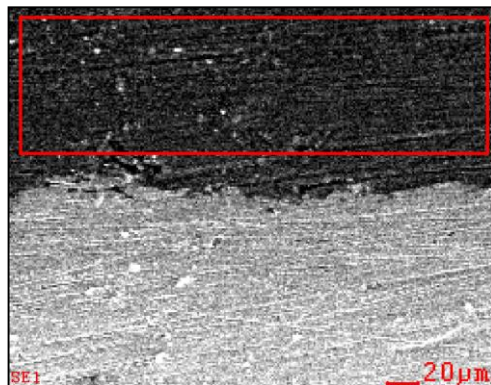
Peak List:

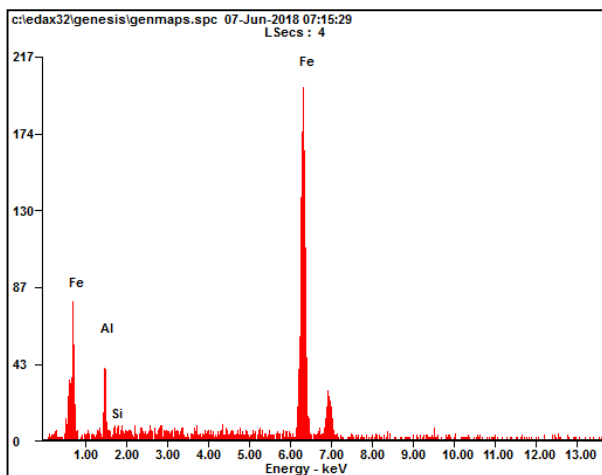
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
45.1001	109.35	0.2007	2.01032	100.00
65.4056	49.79	0.3346	1.42692	45.54
78.5111	41.92	0.2676	1.21833	38.34
82.6656	60.24	0.2676	1.16732	55.09

5. Uji EDAX spesimen ketebalan 300 mikron tanpa perlakuan

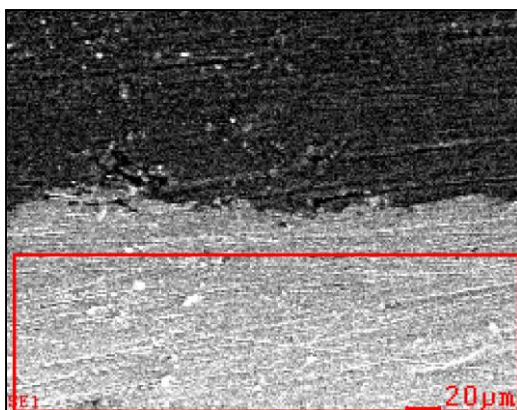


Element	Wt%	At%
AlK	100.00	100.00
Matrix	Correction	ZAF

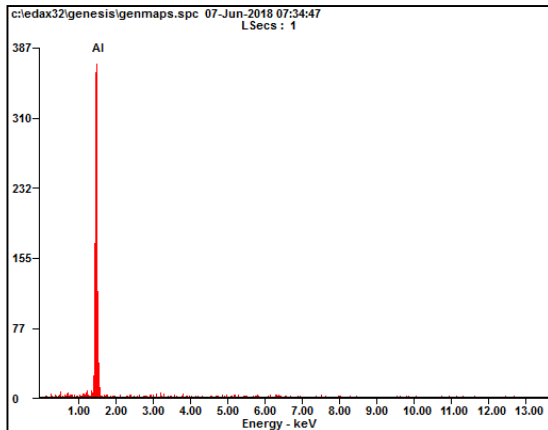




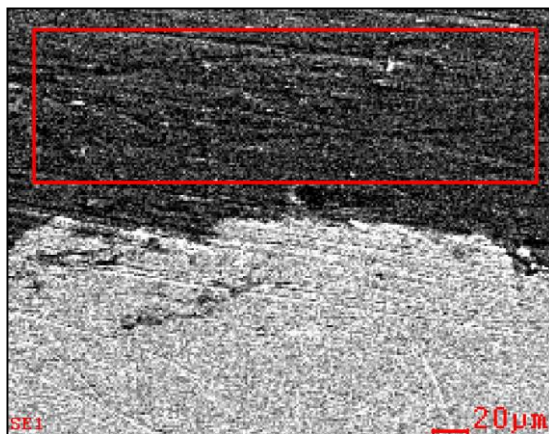
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>AlK</i>	08.84	16.57
<i>SiK</i>	00.93	01.68
<i>FeK</i>	90.23	81.75
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

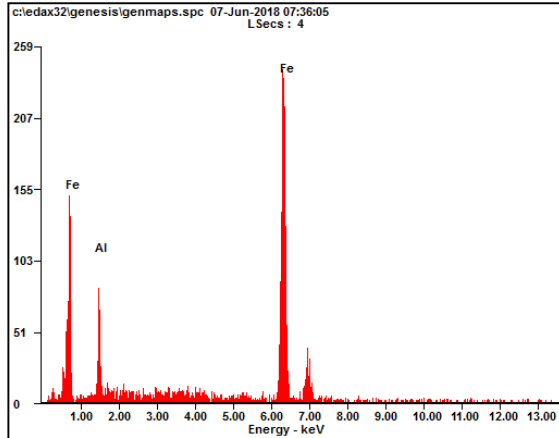


6. Uji EDAX spesimen ketebalan 300 mikron proses *aging* 150 °C

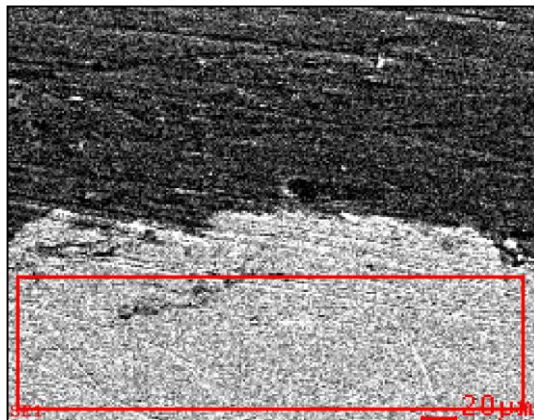


Element	Wt%	At%
AlK	100.00	100.00
Matrix	Correction	ZAF

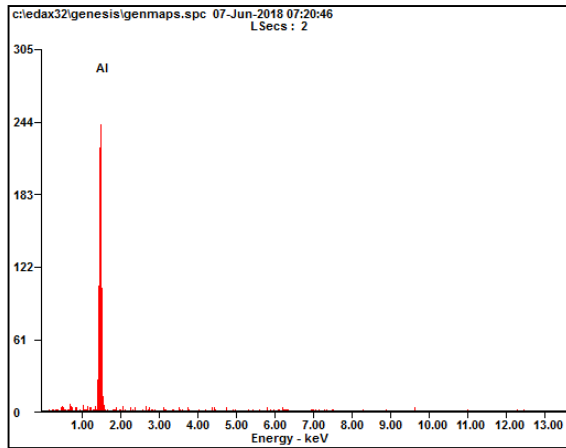




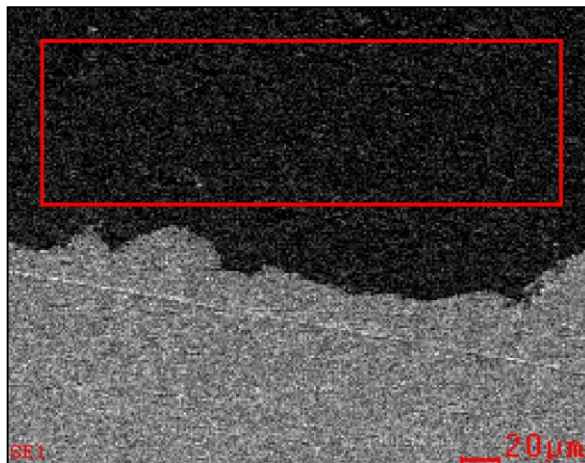
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>AlK</i>	12.58	22.94
<i>FeK</i>	87.42	77.06
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

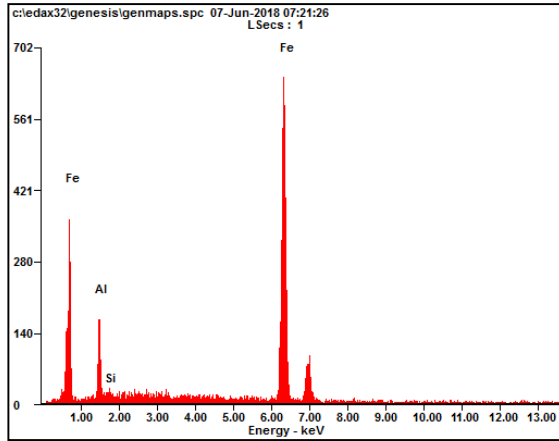


7. Uji EDAX spesimen ketebalan 300 mikron proses *aging* 300 °C

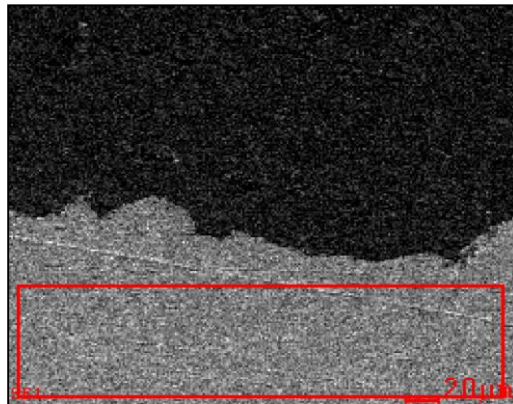


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>AlK</i>	100.00	100.00
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

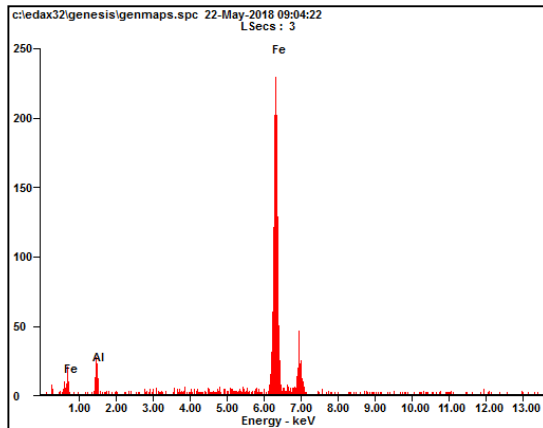




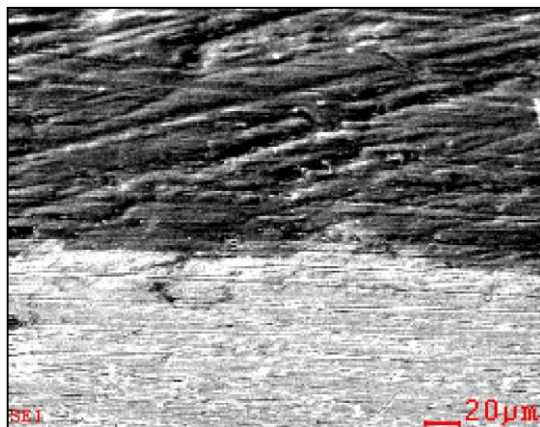
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>AlK</i>	09.89	18.45
<i>SiK</i>	00.39	00.70
<i>FeK</i>	89.72	80.85
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



8. Uji EDAX spesimen ketebalan 300 mikron proses *aging* 450 °C



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>AlK</i>	24.51	40.19
<i>FeK</i>	75.49	59.81
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo 21 Mei 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Samsurijal dan Melati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita, SD 1 Muhammadiyah Sidoarjo, SMPN 3 Sidoarjo dan SMAN 1 Sidoarjo. Saat ini penulis

melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2714100082. Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi Proses Manufaktur, pada Laboratorium Proses Manufaktur dengan judul tugas akhir “***Pengaruh Temperatur Perlakuan Panas Aging Dan Ketebalan Lapisan Aluminium Hasil Arc Spray Terhadap Coating Integrity Dan Ketahanan Korosi Pada Baja Aisi 1018 Di Lingkungan Air Laut***”

Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti organisasi HMMT FTI-ITS, Ikatan Mahasiswa Sidoarjo dan Kepanitiaan Ini Lho ITS!. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi 089609337577 dan email penulis adalah muhammadrifki22@yahoo.id

(Halaman ini sengaja dikosongkan)